



**Sofia Maria Gomes
de Melo**

**Soluções construtivas *Passivhaus* adequadas ao
clima do sul europeu**



**Sofia Maria Gomes
de Melo**

**Soluções construtivas *Passivhaus* adequadas ao
clima do sul europeu**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Sistemas Energéticos Sustentáveis, realizada sob a orientação científica do Doutor Nelson Amadeu Dias Martins, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

o júri

presidente

Prof. Doutor António Gil D'Orey de Andrade Campos
professor auxiliar da Universidade de Aveiro

vogal (orientador)

Prof. Doutor Nelson Amadeu Dias Martins
professor auxiliar da Universidade de Aveiro

arguente

Prof. Doutora Maria Fernanda da Silva Rodrigues
professora auxiliar da Universidade de Aveiro

agradecimentos

De uma forma sucinta e sincera, agradeço a todos aqueles que de algum modo contribuíram para a concretização desta dissertação.

palavras-chave

Edifício, *Passivhaus*, Sul da Europa.

resumo

A definição de nZEB apresentada pela EPBD é ampla e remete para os Estados Membros da UE a responsabilidade de a transpor às suas condições nacionais. O padrão *Passivhaus* surge como base ideal para os nZEB, pois permite edifícios muito eficientes, com elevados níveis de conforto, acessíveis economicamente, e é um conceito compatível com as energias renováveis. Apesar de haver diversos casos de sucesso da implementação da *Passivhaus* a nível mundial, continua-se a procurar quais os requisitos que um edifício deve ter para cumprir este padrão em climas distintos daqueles da Europa Central.

Como a EPBD se destina a todos os Estados Membros e sendo que a Europa Central tem um clima frio, a maior preocupação são os climas mais quentes. Assim este estudo pretendeu encontrar os requisitos que um edifício a ser construído no sul europeu deve ter para satisfazer o padrão *Passivhaus*.

Criou-se um edifício modelo para o estudar em diferentes cidades sul europeias utilizando a simulação dinâmica com recurso ao *software DesignBuilder*. O edifício modelo é do tipo residencial com 90 m² para uma família de três pessoas. Apresenta geometria simples, piso térreo de forma retangular e cobertura plana. Esse edifício criado teve parâmetros comuns em todas as localizações e parâmetros variáveis para o conseguir ajustar ao padrão *Passivhaus* nas diferentes cidades estudadas. Em cada local definiram-se os valores de U da envolvente exterior do edifício de modo a que a carga máxima de aquecimento fosse cerca de 10 W/m².

Ajustando os parâmetros variáveis determinaram-se os requisitos que o edifício modelado deve ter para cumprir o padrão *Passivhaus* nas cidades estudadas.

O padrão *Passivhaus* foi conseguido em todas as cidades estudadas. No sul europeu existem maiores necessidades de arrefecimento do que na Europa Central e essas necessidades foram satisfeitas recorrendo apenas a métodos passivos de arrefecimento. Nas cidades sul europeias estudadas com climas frios e mistos o comportamento do edifício foi idêntico ao encontrado na Europa Central. De uma forma geral, nos climas temperados houve um alívio nos requisitos encontrados relativamente aos da Europa Central.

keywords

Building, Passive House, Southern Europe.

abstract

The definition of nZEB provided by EPBD is ambiguous and gives the European Member States full responsibility on its translation to their national conditions. The Passive House standard emerges as the ideal basis for the nZEB. Besides being compatible with renewable energies, it originates buildings which are affordable, highly efficient and have a high level of comfort. Although there have been several successful cases of the implementation of the Passive House standard worldwide, the best requirements for a building to comply with the standard in different climate regions are still being researched.

As all the Members States have to comply with the EPBD and Central Europe has a cool climate, the biggest concern lies within the warmest climates. Thus the main purpose of this dissertation is to determinate the requirements that a building should have in order to comply with the Passive House standard in Southern Europe.

A prototype building was created in order to be studied in different Southern European cities using DesignBuilder, a dynamic simulation software. This prototype building is a residential building with 90 m² for a family of three. It has a simple geometry, being a single-story building with rectangular shape and flat roof. The prototype building had some parameters that were common to all locations and other ones that were adjustable so that it was possible to make the building comply with the Passive House standard in the different studied cities. For each location the U-values of the building envelope was chosen so that the heating load was circa 10 W/m².

By adjusting the variable parameters it was determined what requirements the prototype building should have in order to comply with the Passive House standard at the locations which were subject to study.

The Passive House standard was achieved in all the studied cities. Southern Europe has bigger cooling demands than Central Europe, and those demands were satisfied only by using passive cooling techniques. In Southern European cities having a cool or mixed climate the behavior of the building was similar to what was found in Central Europe. In a general way, in warm climates the requirements could be relaxed in comparison to those found for Central Europe.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Contextualização	1
1.2	Objetivos Gerais	3
1.3	Organização do documento	3
2	Revisão bibliográfica	4
2.1	ZEB (Zero-Energy Building)	4
2.1.1	O que é um ZEB?	4
2.1.2	Os fatores que influenciam a definição de ZEB	4
2.1.3	Necessidade de estabelecer uma definição única de ZEB	8
2.2	EPBD (Diretiva do Desempenho Energético dos Edifícios)	9
2.2.1	O propósito da EPBD	9
2.2.2	Os requisitos da EPBD e os nZEB	10
2.2.3	Os Estados Membros e a implementação da EPBD	15
2.2.4	Os nZEB tendo por base o padrão <i>Passivhaus</i>	24
2.3	O padrão <i>Passivhaus</i>	25
2.3.1	O que é o padrão <i>Passivhaus</i> ?	25
2.3.2	Definição do padrão <i>Passivhaus</i>	26
2.3.3	Os cinco fundamentos básicos da <i>Passivhaus</i>	26
2.3.4	Elevados níveis de conforto térmico na <i>Passivhaus</i>	36
2.3.5	Consumos energéticos na <i>Passivhaus</i>	37
2.3.6	A influência do fator de forma numa <i>Passivhaus</i>	38
2.3.7	Acessibilidade económica de uma <i>Passivhaus</i>	41
2.3.8	Conceito <i>Passivhaus</i> aplicado a renovações de edifícios	42
2.3.9	Ferramenta de planeamento da <i>Passivhaus</i>	42
2.3.10	Requisitos <i>Passivhaus</i>	43
2.3.11	<i>Passivhaus</i> nos climas do sul europeu	44
2.4	Síntese	47

3	Caso de estudo	48
3.1	Contributo da dissertação	48
3.2	Metodologia	48
3.2.1	Descrição geral	48
3.2.2	Simulação dinâmica de edifícios	49
3.3	Modelação do edifício	50
3.3.1	Tipologia do edifício	50
3.3.2	Características da simulação	51
3.4	Edifício modelado em Frankfurt	65
3.5	Cidades do sul europeu estudadas	66
4	Análise e discussão dos resultados	69
5	Conclusões e trabalhos futuros	80
5.1	Síntese do trabalho realizado	80
5.2	Principais conclusões	80
5.3	Propostas de trabalho futuro	81
	Referências bibliográficas	83

Lista de Figuras

Figura 1 – As diferentes opções de produção de energia a partir de fontes renováveis	6
Figura 2 – Distribuição por setores do consumo total de energia da UE	10
Figura 3 – Cronograma das datas mais importantes encontradas na EPBD	12
Figura 4 – Estados Membros e a situação de aprovação da sua definição nacional de nZEB para edifícios novos	16
Figura 5 – Identificação de pontes térmicas na envolvente do edifício	30
Figura 6 – Sistema de ventilação mecânica com recuperação de calor	34
Figura 7 – Relação entre o fator de forma e a geometria do edifício	39
Figura 8 – Representação gráfica da relação entre o fator de forma das perdas de calor e o valor requerido de U para a envolvente térmica de uma <i>Passivhaus</i>	40
Figura 9 – Planta do edifício (não se encontra à escala)	50
Figura 10 – Convenção da geometria do edifício modelado no <i>DesignBuilder</i>	51
Figura 11 – Planta do edifício visualizada no <i>DesignBuilder</i>	52
Figura 12 – Alçadas do edifício visualizadas no <i>DesignBuilder</i>	52
Figura 13 – Opções do modelo gerais selecionadas no <i>DesignBuilder</i>	53
Figura 14 – Valor e nível de estanquidade do edifício modelado no <i>DesignBuilder</i>	54
Figura 15 – Horário de ocupação “ <i>Test Residential Occ</i> ” da base de dados do <i>DesignBuilder</i>	55
Figura 16 – Inserção dos dados no separador de atividade do <i>DesignBuilder</i>	56
Figura 17 – Horário funcionamento da iluminação “ <i>Test Residential Light</i> ” da base de dados do <i>DesignBuilder</i>	57
Figura 18 – Opção de iluminação no edifício modelado no <i>DesignBuilder</i>	58
Figura 19 – Funcionamento do sistema AQS do edifício modelado no <i>DesignBuilder</i>	58

Figura 20 – Ventilação mecânica do edifício modelado no <i>DesignBuilder</i>	59
Figura 21 – Funcionamento do sistema de aquecimento do edifício modelado no <i>DesignBuilder</i>	60
Figura 22 – Funcionamento da ventilação natural do edifício modelado no <i>DesignBuilder</i>	61
Figura 23 – Horário de funcionamento da ventilação natural criado para o edifício modelado no <i>DesignBuilder</i>	61
Figura 24 – Utilização do sombreamento no edifício modelado no <i>DesignBuilder</i>	62
Figura 25 – Exemplo de atribuição do valor de U dos vidros do edifício modelado no <i>DesignBuilder</i>	62
Figura 26 – Exemplo de atribuição do valor de U da caixilharia do edifício modelado no <i>DesignBuilder</i>	63
Figura 27 – Exemplo de atribuição do valor de U à parede exterior do edifício modelado no <i>DesignBuilder</i>	64
Figura 28 – Localização das cidades estudadas	66

Lista de Quadros

Quadro 1 – Principais requisitos da EPBD relacionados com diferentes argumentos dos nZEB a serem definidos	14
Quadro 2 – Relação entre a condutividade térmica e a espessura de diferentes materiais para se obter o mesmo valor de $U = 0,13 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	28
Quadro 3 – Requisitos do edifício <i>Passivhaus</i> modelado na cidade de Frankfurt, zona climática 5C	70
Quadro 4 – Requisitos do edifício <i>Passivhaus</i> modelado nas cidades sul europeias com zona climática 5A	71
Quadro 5 – Requisitos do edifício <i>Passivhaus</i> modelado nas cidades sul europeias com zona climática 4A	72
Quadro 6 – Requisitos do edifício <i>Passivhaus</i> modelado nas cidades sul europeias com zona climática 3C	73
Quadro 7 – Requisitos do edifício <i>Passivhaus</i> modelado nas cidades sul europeias com zona climática 3A	74

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Resumo dos principais parâmetros da definição de nZEB por cada Estado Membro 18

Tabela 2 – Cidades do sul europeu estudadas 67

Lista de Abreviações

AQS	Água Quente Sanitária
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
AVAC	Ar, Ventilação e Ar Condicionado
BPIE	<i>Buildings Performance Institute Europe</i>
CEPHEUS	<i>Cost Efficient Passive Houses as EUropean Standards</i>
CO ₂	Dióxido de carbono
EPBD	<i>Energy Performance of Building Directive</i> (Diretiva do Desempenho Energético dos Edifícios)
GEE	Gases de Efeito de Estufa
IPHA	<i>International Passive House Association</i> (Associação Internacional <i>Passivhaus</i>)
nZEB	<i>Nearly Zero-Energy Building</i> (Edifício com necessidades quase nulas de energia)
PHI	<i>Passive House Institute</i> (Instituto <i>Passivhaus</i>)
PHPP	<i>Passive House Planning Package</i>
U	Coeficiente global de transferência de calor
UE	União Europeia
ZEB	<i>Zero-Energy Building</i> (Edifício com necessidades energéticas nulas)

1 Introdução

1.1 Contextualização

As preocupações ambientais é um assunto muito debatido nas últimas décadas por instituições ambientais e pelos governos (1). Esses debates fomentam medidas como o pacote clima-energia 2020 adotado pela União Europeia (UE). Este pacote entrou em vigor em 2009 e compreende três objetivos principais a cumprir até ao ano de 2020. As metas a atingir são as seguintes: 20% de redução das emissões de gases de efeito de estufa (GEE) relativamente aos níveis de 1990; 20% da energia da UE proveniente de fontes renováveis; e 20% de aumento na eficiência energética. Para fazer cumprir essas metas a UE está a atuar em diferentes setores (2).

Um dos setores mais alarmantes na UE é o dos edifícios com um consumo total de energia de 40% (3), contabilizando 24% das emissões de GEE (4). Atendendo apenas ao dióxido de carbono (CO₂), um dos GEE, o setor dos edifícios é responsável por cerca de um terço das emissões deste gás (5).

O setor dos edifícios da UE encontra-se em expansão provocando um aumento no consumo de energia, pelo que é primordial implementar medidas de eficiência e introduzir energias de fontes renováveis para reduzir a dependência energética e as emissões de GEE. Também existe um grande potencial de poupança nos edifícios europeus existentes, uma vez que grande parte do edificado não foi remodelado com o intuito de melhorar a sua eficiência energética. Portanto, o setor dos edifícios da UE ainda tem muito para evoluir no sentido de um desenvolvimento sustentável (3,5).

A UE tomou providências e foi lançada a Diretiva do Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD – do inglês “*Energy Performance of Building Directive*”) em 2002 e a sua reformulação em 2010. A EPBD exige que após 31 de Dezembro de 2018 os edifícios novos pertencentes ao Estado terão de ser edifícios com necessidades quase nulas de energia (nZEB – do inglês “*Nearly Zero-Energy Building*”) e até 31 de Dezembro de 2020 a mesma obrigatoriedade para todos os edifícios novos em geral. A EPBD também refere que os Estados Membros devem encorajar a transformação dos edifícios sujeitos a remodelações em nZEB (3).

O nZEB é definido pela EPBD como um edifício que tem “um desempenho energético muito elevado”. Refere ainda que a “quantidade muito baixa de energia requerida”, aquela que é “quase nula”, deve ser coberta “de forma muito significativa” por energia renovável gerada no local ou na vizinhança (3).

Cabe a cada Estado Membro descortinar esta definição ampla da EPBD e traduzir este conceito em números para a sua situação nacional, definindo a sua metodologia e leis nacionais para cumprir a Diretiva (4).

Assim, atendendo às condições locais, qualidade do ambiente interior do edifício e o custo-benefício, a EPBD tem como objetivo melhorar a eficiência energética dos edifícios (5).

Segundo vários estudos, ao aplicar o padrão *Passivhaus* consegue-se de forma eficaz aumentar a eficiência energética dos edifícios e limitar as emissões de GEE (6). Dequaire concluiu no seu estudo a diferentes conceitos de edifícios com necessidades energéticas baixas que não há outro que consiga resultados melhores do que a *Passivhaus* (7).

A *Passivhaus* tem mais de 20 anos de sucesso com provas dadas. Esta solução muito eficiente é economicamente viável e compatível com as energias renováveis. O padrão *Passivhaus* cumpre os requisitos da EPBD resultando na base ideal para os nZEB (5).

Para além do referido anteriormente, o conceito *Passivhaus* distingue-se ainda pela sua aplicabilidade geral, isto é pode ser aplicada a qualquer tipo de edifício e em qualquer tipo de clima (8). Porém este conceito nasceu na Alemanha e por isso está melhor concebido para os climas da Europa Central (9). Existem diversos edifícios *Passivhaus* implementados pelo mundo com sucesso (9), contudo continuam a ser feitos estudos para encontrar as melhores soluções para aplicar o conceito *Passivhaus* a climas diferentes aos da Europa Central (1,10).

Como a EPBD se destina a todos os Estados Membros e sendo que a Europa Central tem um clima frio, a maior preocupação são os climas mais quentes. Assim, o foco de estudo desta dissertação é a adaptação do conceito *Passivhaus* ao clima do sul da Europa.

1.2 Objetivos Gerais

Com recurso a simulações dinâmicas a um edifício modelo de geometria simplificada localizado em diferentes cidades do sul europeu, através do programa *DesignBuilder*, o objetivo deste trabalho é determinar os requisitos que um edifício deve ter para cumprir o padrão *Passivhaus* nesses locais.

1.3 Organização do documento

Esta dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos.

No primeiro capítulo começa-se por fazer uma breve contextualização desde a problemática até ao tema da dissertação. De seguida apresentam-se os objetivos principais. Por fim termina-se com esta descrição da estrutura da dissertação.

No segundo capítulo faz-se a revisão bibliográfica dos assuntos necessários à compreensão do tema da dissertação e finaliza-se com uma síntese das limitações de conhecimentos encontradas na literatura que resultaram na seleção do caso de estudo desta dissertação.

No terceiro capítulo engloba-se os diversos parâmetros do caso de estudo. Começando por expor os contributos da dissertação a atingir com este caso de estudo. De seguida apresenta-se e descreve-se a metodologia para obter esses contributos. Depois descreve-se a modelação do objeto de estudo e os diferentes climas das cidades do sul da Europa selecionadas para a localização do edifício modelo criado.

No quarto capítulo procede-se à análise e discussão dos resultados das simulações dinâmicas realizadas ao edifício modelo nas diferentes localizações.

No quinto capítulo finaliza-se com as principais conclusões desta dissertação e propõem-se questões a estudar em trabalhos futuros.

2 Revisão bibliográfica

2.1 ZEB (*Zero-Energy Building*)

2.1.1 O que é um ZEB?

O conceito de um edifício com necessidades energéticas nulas (ZEB - do inglês “*Zero-Energy Building*”) surgiu como uma solução para reduzir os consumos energéticos e as emissões de GEE (11).

A nível internacional tem-se debatido e proposto metas para a inclusão deste conceito na estratégia de política energética de diversos países (11,12). Contudo, nas metas propostas as definições de ZEB utilizadas são genéricas e não seguem um padrão (12).

De uma forma geral, o termo ZEB é entendido como um edifício com elevada eficiência energética cujo balanço de geração de energia proveniente de fontes renováveis com o consumo total de energia anual é nulo (4,12). Este balanço pode ser feito de forma autónoma em que o edifício gera a sua energia, armazena a excedente e quando não tem capacidade de produção utiliza a energia armazenada, designando-se por ZEB autónomo. Ou da forma mais comum que é ligado à rede de abastecimento, recorrendo-se ao termo *net* ZEB. Assim, um *net* ZEB é um edifício com balanço energético anual nulo em que a quantidade de energia que recebe da rede de abastecimento é igual à que fornece (4).

Um edifício com necessidades energéticas quase nulas (nZEB) é um edifício ligado à rede em que o balanço energético anual é ligeiramente negativo, ou seja, a quantidade de energia que fornece à rede de abastecimento é ligeiramente inferior àquela que recebe. Quando esse balanço tem saldo positivo, os edifícios tomam a designação de *plus* ZEB, isto é, ao longo do ano o edifício produz mais energia proveniente de fontes renováveis do que aquela que recebe (4,12).

2.1.2 Os fatores que influenciam a definição de ZEB

Dependendo da ligação à infraestrutura energética, das opções de fontes de energia renovável, assim como do tipo de balanço, limite físico, da métrica, do

período e do tipo de energia usada, obtiveram-se diferentes metodologias de cálculo e definições de ZEB (4).

Em Marszal *et al.* (11) foi realizada uma revisão das definições e das várias tentativas de metodologias de cálculo para determinar os ZEB encontradas na literatura existente. Para além dos aspetos a considerar na definição dos ZEB enumerados acima, nesse artigo os autores apontam a importância dos requisitos dos edifícios. Referem que os requisitos que influenciam a definição de ZEB são a eficiência energética, a qualidade do ambiente interior e a qualidade da interação do edifício com a rede de abastecimento. Relativamente à eficiência energética os autores enfatizam o facto de ser importante garantir que um ZEB é energeticamente eficiente e não apenas um edifício convencional que faz uso de grandes sistemas de energias renováveis para chegar a um balanço nulo. De forma geral, na qualidade do ambiente interior é importante garantir o conforto e a saúde dos ocupantes do edifício. Por fim, nos requisitos da interação do edifício com a rede de abastecimento os autores referem que é um aspeto normalmente negligenciado, contudo é importante uma vez que nesta interação pode haver perdas energéticas se a qualidade da energia fornecida à rede não for igual à recebida (11).

Na ligação à infraestrutura energética há a distinção entre o *net* ZEB e o ZEB autónomo, ou seja o ligado e o não ligado à rede de abastecimento (11).

A fonte de energia renovável pode ser local (por exemplo: sol e vento) ou não local, sendo necessário o seu transporte para o local (por exemplo a biomassa). Na fonte local ainda se diferencia aquela que é gerada dentro da área de implantação do edifício. Na não local também se distingue a produção de energia renovável na vizinhança do edifício. No balanço do ZEB é necessário definir quais são as opções de fontes de energia renovável utilizadas e a fração de produção de energia renovável (4). A Figura 1 adaptada de (11) representa graficamente e sem qualquer ordem de preferência as diferentes opções de produção de energia a partir de fontes renováveis encontradas na literatura. As opções de I a V estão ordenadas segundo a localização das fontes de energia renovável em relação ao edifício (11).

O limite físico é a interface entre o edifício e a rede de abastecimento. Este limite separa a geração local de energia renovável da não local (12).

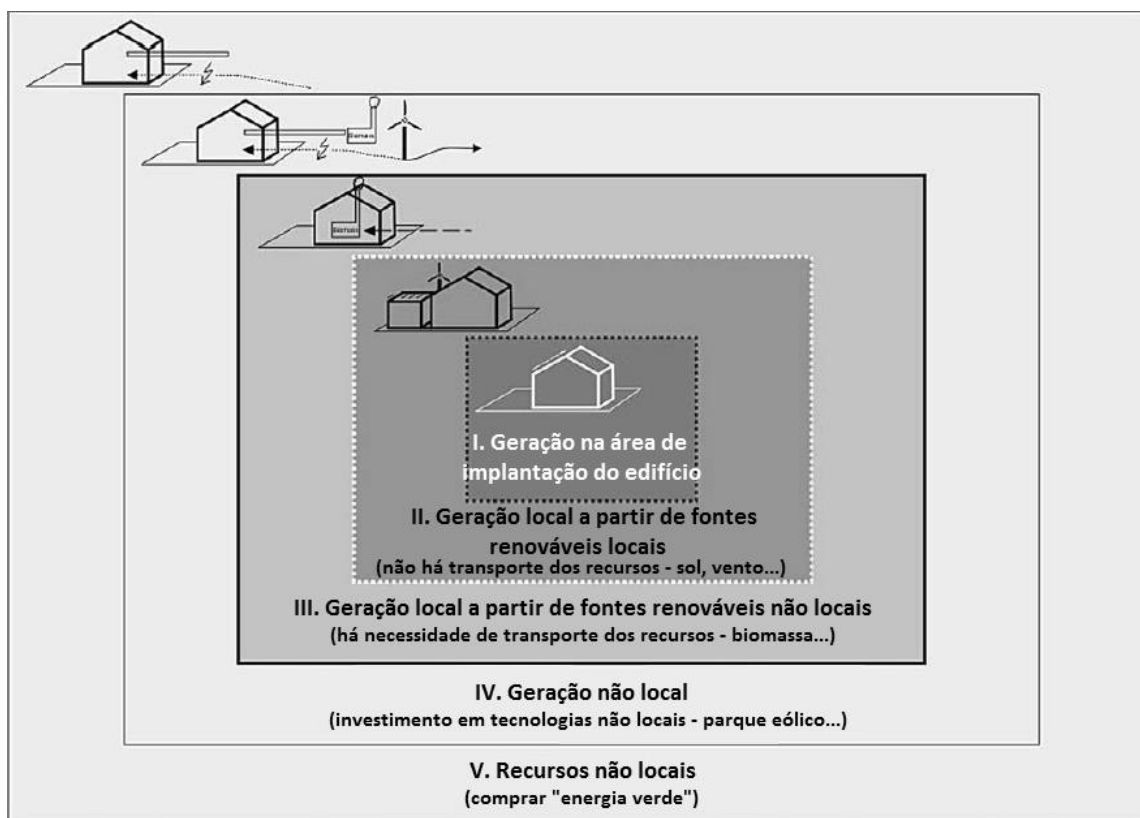


Figura 1 – As diferentes opções de produção de energia a partir de fontes renováveis - adaptada de (11)

Apenas nos edifícios ligados à rede se pode considerar diferença nos tipos de balanço. Como referido anteriormente um ZEB autónomo é aquele que não está ligado à rede de abastecimento logo as necessidades energéticas apenas poderão ser balanceadas com a geração de energia de fonte renovável. Num *net* ZEB esse tipo de balanço é mais aplicável durante a fase de planeamento. Durante a fase de monitorização, o balanço entre a energia recebida e fornecida à rede de abastecimento é o mais adequado (4).

Segundo Torcellini *et al.* (13) a métrica utilizada no balanço pode ser influenciada por diversos fatores: os objetivos do projeto, as intenções do investidor, os custos da energia, as preocupações ambientais e emissões de GEE. Assim as unidades associadas ao conceito ZEB podem ser, por exemplo: energia primária¹, energia final ou fornecida (aos equipamentos do edifício), custo de energia, emissões equivalentes de CO₂, entre outros (11). Nas definições deve-se especificar os fatores

¹ Energia primária: energia de fontes renováveis e não renováveis que não sofreu qualquer processo de transformação ou conversão (3).

de conversão (4). A energia final pode ser a unidade mais fácil de implementar e de entender contudo não permite contabilizar as perdas por transformação e transporte da energia, e também não diferencia a qualidade dos vários tipos de energia. Com a energia primária essa distinção é conseguida. A energia primária é a métrica mais utilizada nos cálculos do ZEB. Outra métrica que também é bastante utilizada é das emissões equivalentes de CO₂ que pode ser útil nas questões das alterações climáticas e das emissões de GEE (11). Contudo começa-se a entrar noutro âmbito, o dos edifícios com emissões nulas. O mesmo acontece quando a unidade aplicada é a do custo da energia, apesar de dar uma visão interessante ao comprador pois faz um balanço dos custos. Uma das desvantagens desta métrica é a instabilidade dos preços da energia (11).

Outro motivo de debate é o tipo de energia usada pois existe uma grande variedade de opções: aquecimento, arrefecimento, desumidificação, ventilação, aquecimento de água, iluminação, entre outros. Por isso é necessário referir quais os tipos de energia que são contabilizados no balanço. A maioria das metodologias de cálculo encontradas utilizam a energia total consumida na operação do edifício, seja relacionada com o edifício ou com os ocupantes. Como explicado a seguir, outro tipo de energia que pode entrar nos cálculos é a embebida (11).

O espaço de tempo sob o qual incidem os cálculos pode ser variado, sendo que o período para o balanço mais utilizado é o anual. Se por alguma razão os padrões de utilização de energia no edifício mudarem de forma significativa de ano para ano, pode-se utilizar um balanço do período de operação do edifício, por exemplo 50 anos. Em situações menos frequentes é aplicado o balanço mensal ou sazonal (11). Hernandez e Kenny (14) propõem o balanço ao ciclo de vida do edifício para definir o ZEB. Assim, referem que para além do que é contabilizado no balanço de um *net* ZEB, também é possível entrar nos cálculos a energia embebida, aquela necessária para proporcionar os produtos e serviços. Pois consideram que este tipo de energia pertence à análise da “rede” aquando se estuda a energia utilizada ao longo do ciclo de vida de um edifício (14).

Também ao efetuar um balanço ao ciclo de vida de um edifício se consegue verificar que apesar do investimento inicial para construir um ZEB ser superior ao de um edifício convencional, os custos de operação do ZEB são inferiores devido à sua grande eficiência energética e à produção de energia renovável. Assim ao longo do seu ciclo de vida o ZEB compensa em relação a um edifício convencional. Os custos

influenciam muito a decisão do comprador pelo que se deve ter em consideração o fator económico nos projetos de um ZEB (11).

2.1.3 Necessidade de estabelecer uma definição única de ZEB

Em Marszal *et al.* (11) discute-se que, por um lado, de um ponto de vista genérico seria benéfico os ZEB terem os mesmos requerimentos independentemente da eficiência energética e do ambiente interior e assim seria mais fácil avaliar e comparar os ZEB entre diferentes localizações do mundo. Contudo referem que, por outro lado, limitaria a definição de ZEB uma vez que diferentes valores podem ser usados dependendo do tipo de edifício, localização, clima local e do padrão aplicado (11). O padrão *Passivhaus*, que será explicado ao pormenor no tópico 2.3, devido à sua aplicabilidade geral pode satisfazer o discutido por Marszal *et al.* Isto é, esse conceito pode ser aplicado a qualquer tipo de clima e edifício. A metodologia ou requisitos são os mesmos mas as propriedades e componentes individuais de cada edifício têm de ser adaptados às suas condições, de modo a cumprir o padrão *Passivhaus* (9). Para além disso é um conceito que origina edifícios com elevada eficiência energética e quando associado a energias renováveis pode ser um caminho a seguir para se atingir os ZEB (14).

Marszal *et al.* (11) refere ainda a importância de considerar os edifícios existentes na definição de um conceito de ZEB. Contesta além disso que havendo requisitos para os ZEB esses devem ser diferentes para os novos edifícios e os já existentes (11). Algo que o conceito *Passivhaus* também distingue, havendo o padrão *EnerPHit* para as remodelações de edifícios que por razões de custo-benefício não conseguem cumprir o padrão *Passivhaus* (9). A renovação dos edifícios é importante uma vez que há um grande potencial de melhoramento da eficiência energética dos edifícios existentes (3,11).

Devido a questões ambientais, não há dúvida que os ZEB são o caminho a seguir no setor dos edifícios, contudo será necessária uma definição clara deste conceito e da sua metodologia de cálculo. Alguns países tentam arranjar as suas próprias metodologias de implementação e definição de casos particulares de ZEB (11). Como é o caso dos Estados Membros da UE que criou a EPBD com o objetivo

de tornar todos os edifícios novos construídos nos Estados Membros em nZEB até o final do ano de 2020 (3).

2.2 EPBD (Diretiva do Desempenho Energético dos Edifícios)

2.2.1 O propósito da EPBD

A UE ao assinar o Protocolo de Quioto da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas assumiu um compromisso a longo prazo de manter a subida da temperatura global abaixo dos 2°C e de reduzir até 2020 as emissões globais GEE em pelo menos 20% relativamente aos níveis de 1990, e em 30% no caso de se alcançar um acordo internacional (3).

Ao consultar a Figura 2 verifica-se que um dos setores mais alarmantes na UE é o dos edifícios com um consumo total de energia de 40% (3), contabilizando 24% das emissões de GEE (4). Atendendo apenas ao CO₂, um dos GEE, o setor dos edifícios é responsável por cerca de um terço das emissões deste gás (5). O setor dos edifícios da UE encontra-se em expansão provocando um aumento no consumo de energia, pelo que é primordial implementar medidas de eficiência e introduzir energias de fontes renováveis para reduzir a dependência energética e as emissões de GEE. Também existe um grande potencial de poupança nos edifícios europeus existentes, uma vez que grande parte do edificado não foi remodelado com o intuito de melhorar a sua eficiência energética. Portanto, o setor dos edifícios da UE ainda tem muito para evoluir no sentido de um desenvolvimento sustentável (3,5).

Também cerca de 90% do tempo de vida de uma pessoa é passado dentro de edifícios. Pelo que os requisitos dos edifícios influenciam muito no conforto, produtividade e saúde de um indivíduo. Requisitos estes como a envolvente, ventilação, aquecimento e arrefecimento que conjuntamente estão significativamente relacionados com o desempenho energético do edifício (15).

Portanto, melhorar o desempenho energético dos edifícios é uma das formas mais eficientes da UE honrar o seu compromisso. Ainda estimulará um crescimento sustentável, trará importantes benefícios sociais e ambientais e impulsionará a economia europeia (15).

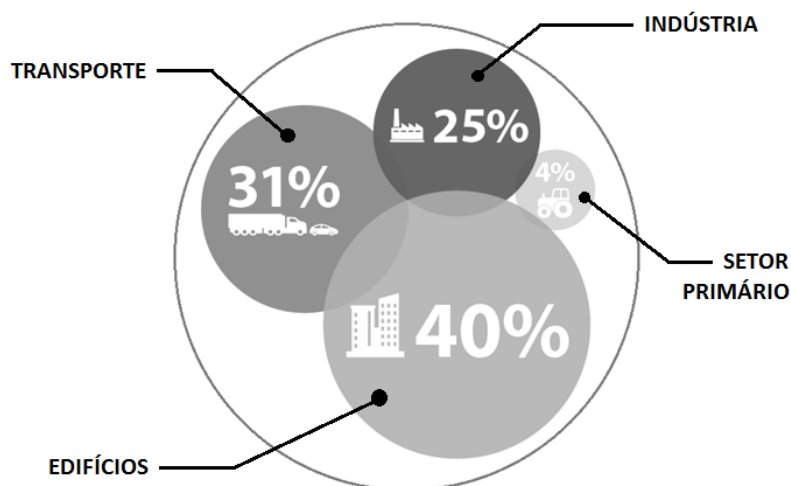


Figura 2 – Distribuição por setores do consumo total de energia da UE - adaptada de (15)

Verificando a potencialidade de melhoramento no setor dos edifícios a UE lançou em 2002 a EPBD e a sua reformulação em 2010. A EPBD tem como objetivo melhorar a eficiência energética dos edifícios atendendo às condições locais, qualidade do ambiente interior do edifício e o custo-benefício (5).

Para sublinhar o seu compromisso a UE criou o pacote clima-energia 2020 que entrou em vigor em 2009. Esse pacote apresenta três metas a cumprir até ao ano de 2020. Essas metas são as seguintes: 20% de redução das emissões GEE (em relação aos níveis de 1990); 20% da energia da UE proveniente de fontes renováveis; e 20% de aumento na eficiência energética (2).

A implementação dos objetivos da EPBD irá contribuir para se atingirem as metas de 2020.

2.2.2 Os requisitos da EPBD e os nZEB

A EPBD exige que após 31 de Dezembro de 2018 os edifícios novos pertencentes ao Estado terão de ser nZEB e até 31 de Dezembro de 2020 a mesma obrigatoriedade para todos os edifícios novos em geral. A EPBD também refere que os Estados Membros devem encorajar a transformação dos edifícios sujeitos a remodelações em nZEB (3).

A exceção aos requisitos enunciados no parágrafo anterior aplica-se a determinados edifícios em que o custo-benefício para todo o seu ciclo de vida económico seja negativo (3).

O nZEB é definido pela EPBD como um edifício que tem “um desempenho energético muito elevado”. Refere ainda que a “quantidade muito baixa de energia requerida”, aquela que é “quase nula”, deve ser coberta “de forma muito significativa” por energia renovável gerada no local ou na vizinhança (3).

Cabe a cada Estado Membro descortinar esta definição ampla da EPBD e traduzir este conceito em números para a sua situação nacional, definindo a sua metodologia e leis nacionais para cumprir a Diretiva (4).

Segundo o ponto 3 do artigo 9 da EPBD, ao criar a sua definição de nZEB cada Estado Membro deve fazer uma descrição pormenorizada da forma como esta é aplicada às suas condições nacionais, regionais ou locais dos edifícios. Deve também incluir um indicador numérico da utilização de energia primária expressa em kWh/m² por ano. Refere ainda que para a determinação da energia primária utilizada, os fatores de energia primária aplicados podem basear-se em valores médios anuais regionais ou nacionais e podem ter em conta as normas europeias pertinentes. Por fim refere que os Estados Membros devem informar acerca das políticas e das medidas financeiras entre outras tomadas para promover os nZEB. Devem incluir detalhes acerca da utilização de energia de fonte renovável em edifícios novos e nos edifícios existentes sujeitos a grandes renovações (3).

O ponto 1 do artigo 9 da EPBD relata que a definição de nZEB de cada Estado Membro deve estar incluída em planos nacionais que promovam o nZEB, sendo que podem incluir diferentes objetivos consoante a categoria dos edifícios em causa (3).

O artigo 4 da EPBD expõe que os Estados Membros devem garantir requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios de modo a atingir níveis ótimos de rentabilidade. A metodologia de cálculo do desempenho energético dos edifícios deve seguir o procedimento que se encontra no Anexo I da EPBD. Relativamente ao método para determinar os níveis ótimos a Diretiva remete para o seu artigo 5, que refere que os Estados Membros teriam que enviar o primeiro relatório até 30 de Junho de 2012 à Comissão Europeia da forma como os calcularam. Os requisitos mínimos devem ser revistos periodicamente, no mínimo de cinco em cinco anos, e, se necessário, atualizados de modo a refletir o progresso técnico no setor dos edifícios (3). O tempo conjuntamente com o desenvolvimento tecnológico influencia

os preços e os fatores de energia primária pelo que é importante fazer a revisão dos cálculos dos níveis ótimos de rentabilidade. Por exemplo, a introdução de mais energia de fonte renovável nas redes de abastecimento nacional provocará uma diminuição dos fatores de energia primária não renovável para o *mix* de eletricidade nacional (16).

Os Estados Membros devem submeter à Comissão Europeia os seus planos nacionais com as medidas e definições para promover os nZEB. Para esse propósito, em 2015 cada Estado Membro teria que apresentar objetivos intermédios para melhorar o desempenho energético dos edifícios novos. De 3 em 3 anos esses objetivos devem ser atualizados (17).

Segundo o ponto 5 do artigo 9 da EPBD, a Comissão Europeia teria que publicar um relatório sobre o progresso dos Estados Membros em aumentar o número de nZEB até final de 2012 e a cada 3 anos. Deve com isto elaborar um plano de ação e, se necessário, propor medidas aos Estados Membros e incentivar a transformação dos edifícios existentes em nZEB aquando uma remodelação (3).

Até final de 2016 a EPBD teria de ser avaliada, segundo o seu artigo 19, de modo a verificar a experiência adquirida e os progressos realizados durante a sua aplicação. Se fosse necessário poderia ser efetuada uma revisão à EPBD (3). Essa avaliação da EPBD tem como propósito verificar se a Diretiva está apta a cumprir os seus objetivos. Essa análise deve ser realizada segundo os seguintes critérios: relevância, eficácia, eficiência, coerência e o valor criado para a UE (18).

Um cronograma das datas mais importantes encontradas na EPBD é apresentado na Figura 3.

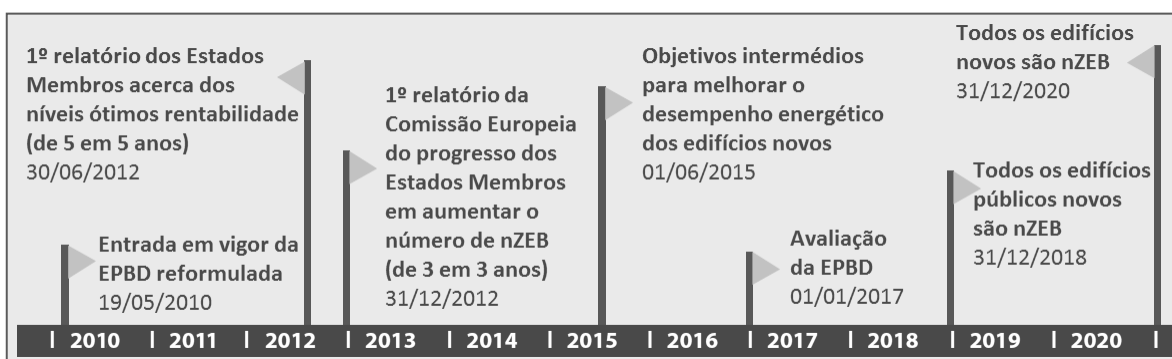


Figura 3 – Cronograma das datas mais importantes encontradas na EPBD - adaptada de (4) e (17)

Devido à forma geral como a EPBD orienta a implementação dos nZEB na UE verifica-se que ainda existe muito por definir. Algo que também está relacionado com a falta de um acordo internacional acerca da definição e metodologia de cálculo de um ZEB relatado no tópico 2.1.1. Visto que não existe uma definição clara de ZEB dificilmente haverá de um nZEB.

D'Agostino no seu estudo ao progresso dos Estados Membros da UE em estabelecerem uma definição de nZEB (4) faz um levantamento dos principais requisitos da EPBD que podem estar relacionados com diferentes argumentos dos nZEB a serem definidos. No Quadro 1 que foi adaptado desse artigo (4) representa esse levantamento. Os argumentos referidos por D'Agostino são os seguintes: categoria do edifício, tipo de balanço, limite físico, limite de necessidades e geração do sistema, período do balanço, normalização, métrica, ponderação temporal e renováveis.

Esses argumentos vão ao encontro dos parâmetros mencionados no tópico 2.1.2. Relembrando esses parâmetros que se voltam a enumerar: ligação à infraestrutura energética, opções de fontes de energia renovável, tipo de balanço, limite físico, métrica, período do balanço, tipo de energia usada e requisitos do edifício.

Relativamente à ligação à infraestrutura energética um nZEB está ligado à rede de abastecimento.

Nas opções de fontes de energia renovável a EPBD é clara e refere que estas têm de ser produzidas localmente ou na vizinhança, contudo não especifica o que se entende por vizinhança, ou seja, até que distância se pode considerar vizinhança. A EPBD também refere que a energia renovável gerada deve satisfazer grande parte das necessidades quase nulas de energia, mas não especifica quantitativamente o que entende por “grande parte” ou por “necessidades quase nulas”.

No tipo de balanço, examinando o Quadro 1, no ponto 4 do artigo 2 a EPBD menciona que o desempenho energético é a energia necessária para satisfazer a procura de energia associada à utilização típica do edifício logo pode-se considerar o balanço entre a energia recebida e a fornecida à rede de abastecimento ou entre a procura e a geração.

No limite físico, atendendo ao Quadro 1, na alínea a) do ponto 2 do artigo 1 a EPBD considera os edifícios ou frações autónomas.

Quadro 1 – Principais requisitos da EPBD relacionados com diferentes argumentos dos nZEB a serem definidos – adaptado de (4)

Requisitos da EPBD	Referência na EPBD	Argumento do nZEB
Os Estados Membros asseguram que o mais tardar em 31 de Dezembro de 2020, todos os edifícios novos sejam nZEB; e após 31 de Dezembro de 2018, os edifícios novos ocupados e detidos por autoridades públicas sejam nZEB.	Artigo 9.1 a/b	Privado/Público
(...) Os edifícios novos e os edifícios existentes sujeitos a grandes obras de renovação deverão cumprir requisitos mínimos de desempenho energético adaptados ao clima local.	Considerando 15 do preâmbulo	Novo/Renovação
(...) Estados Membros (...) desenvolvem políticas e tomam medidas (...) para incentivar a transformação de todos os edifícios remodelados em nZEB (...).	Artigo 9.2	
(...) Os edifícios devem ser devidamente classificados nas (...) categorias	Anexo I.5	Categoria
«Desempenho energético de um edifício», a energia calculada ou medida necessária para satisfazer a procura de energia (...)	Artigo 2.4	Tipo de balanço
A presente Diretiva estabelece requisitos no que se refere ao quadro geral comum para (...) edifícios e das frações autónomas;	Artigo 1.2 a	Limite físico
«Edifício», uma construção coberta, com paredes, na qual é utilizada energia para condicionar o clima interior.	Artigo 2.1	
«Desempenho energético de um edifício», a energia calculada ou medida necessária para satisfazer a procura de energia associada à utilização típica do edifício, que inclui, nomeadamente, a energia utilizada para o aquecimento, o arrefecimento, a ventilação, a preparação de água quente e a iluminação.	Artigo 2.4	Limite de necessidades do sistema
«Energia proveniente de fontes renováveis», a energia proveniente de fontes não fósseis renováveis, nomeadamente eólica, solar, aerotérmica, geotérmica, hidrotérmica e dos oceanos, hídrica, de biomassa, de gases dos aterros, de gases das instalações de tratamento de águas residuais e de biogases.	Artigo 2.6	Limite de geração do sistema
(...) A metodologia para o cálculo do desempenho energético deverá abranger o desempenho energético do edifício ao longo de todo o ano (...)	Considerando 9 do preâmbulo	Período do balanço
(...) que inclua um indicador numérico da utilização de energia primária, expressa em kWh/m ² por ano.	Artigo 9.3 a	Normalização
O desempenho energético de um edifício é expresso de modo transparente e inclui um indicador de desempenho energético, bem como um indicador numérico da utilização de energia primária, em função de fatores de energia primária por vetor energético, podendo tomar-se como base as médias anuais ponderadas, nacionais ou regionais, ou um valor específico para a produção no local.	Anexo I.2	Métrica principal
«Energia primária», a energia proveniente de fontes renováveis e não renováveis que não passou por um processo de conversão ou de transformação.	Artigo 2.5	
(...) Os fatores de energia primária aplicados (...) podem basear-se em valores anuais médios a nível nacional ou regional, e podem ter em conta as normas europeias pertinentes.	Artigo 9.3 a	Ponderação temporal
(...) As necessidades de energia quase nulas ou muito pequenas deverão ser cobertas em grande medida por energia proveniente de fontes renováveis (...)	Artigo 2.2	Fração de renováveis
«nZEB», um edifício com um desempenho energético muito elevado (...)	Artigo 2.2	
O desempenho energético de um edifício (...) inclui um indicador de desempenho energético e um indicador numérico da utilização de energia primária (...)	Anexo I.2	Desempenho energético
A metodologia deve (...) ter em conta: características térmicas (...) instalação de aquecimento e fornecimento de água quente, ar condicionado, ventilação natural e mecânica, instalação fixa de iluminação, conceção, posicionamento e orientação dos edifícios, incluindo as condições climáticas exteriores, sistemas solares passivos e proteções solares (...) cargas internas.	Anexo I.3	
A presente Diretiva (...) tendo em conta (...) requisitos do ambiente interior (...)	Artigo 1.1	Conforto e Qualidade do ar interior
Esta metodologia abrange (...) a qualidade do ar interior, a luz natural adequada (...)	Considerando 9 do preâmbulo	
«Desempenho energético de um edifício», a energia calculada ou medida (...)	Artigo 2.4	Monitorização
Os Estados Membros incentivam a introdução de sistemas de contagem inteligentes (...) a instalação de sistemas de automatização, controlo e monitorização (...)	Artigo 8.2	

Na métrica a EPBD indica que o balanço energético deve ser feito utilizando a energia primária (11).

Em termos do período do balanço, notando o Quadro 1, no considerando 9 do preâmbulo a EPBD destaca que o cálculo do desempenho energético do edifício deverá abranger o seu funcionamento ao longo de todo o ano e não apenas a estação de aquecimento.

No tipo de energia usada no ponto 4 do artigo 2 da EPBD referencia que a energia típica de um edifício inclui a energia utilizada para o aquecimento, o arrefecimento, a ventilação, a preparação de água quente e a iluminação.

Por fim, nos requisitos do edifício, observando o Quadro 1, a EPBD indica que um nZEB é um edifício com um desempenho energético muito elevado, todavia não traduz em termos numéricos o “muito elevado”. Também menciona os requisitos do ambiente interior, a qualidade do ar interior e da iluminação natural.

Outro dos assuntos por definir na EPBD é como combinar a implementação dos nZEB com os requisitos dos níveis ótimos de rentabilidade entre os investimentos necessários e as poupanças energéticas (4).

2.2.3 Os Estados Membros e a implementação da EPBD

Para promover a troca de informações e experiências da implementação da EPBD entre os Estados Membros, a Comissão Europeia criou a *Concerted Action EPBD* que consiste num grupo de representantes das entidades de implementação nacional da Diretiva. Este projeto tem contribuído para um melhor entendimento da EPBD e permitiu harmonizar entre os Estados Membros as tentativas nacionais para implementar a Diretiva (16).

Também existe o *Buildings Performance Institute Europe* (BPIE) que é um instituto de pesquisa política sem fins lucrativos sediado em Bruxelas dedicado a melhorar o desempenho energético dos edifícios europeus. Tendo por foco a criação de conhecimento e a sua partilha para elaboração de políticas baseadas em evidências e para a sua implementação a nível nacional. Um dos projetos a cabo dessa entidade é analisar o progresso dos Estados Membros em aumentar o número de nZEB (15).

Segundo o *Concerted Action EPBD* (16) até abril de 2015 cerca de 40% dos Estados Membros ainda não tinham uma definição detalhada de nZEB (consultar Figura 4). Os restantes cerca de 60% tinham apresentado uma definição detalhada presente num documento legal e a sua maioria utilizou um indicador de energia primária em kWh/m² por ano. Muitos desses Estados Membros estabeleceram que uma fração da energia primária seria de fontes renováveis ou definiram um contributo mínimo de energia renovável em kWh/m² por ano (16). As opções de fontes de energia renováveis mais utilizadas foram as produzidas no local (4).

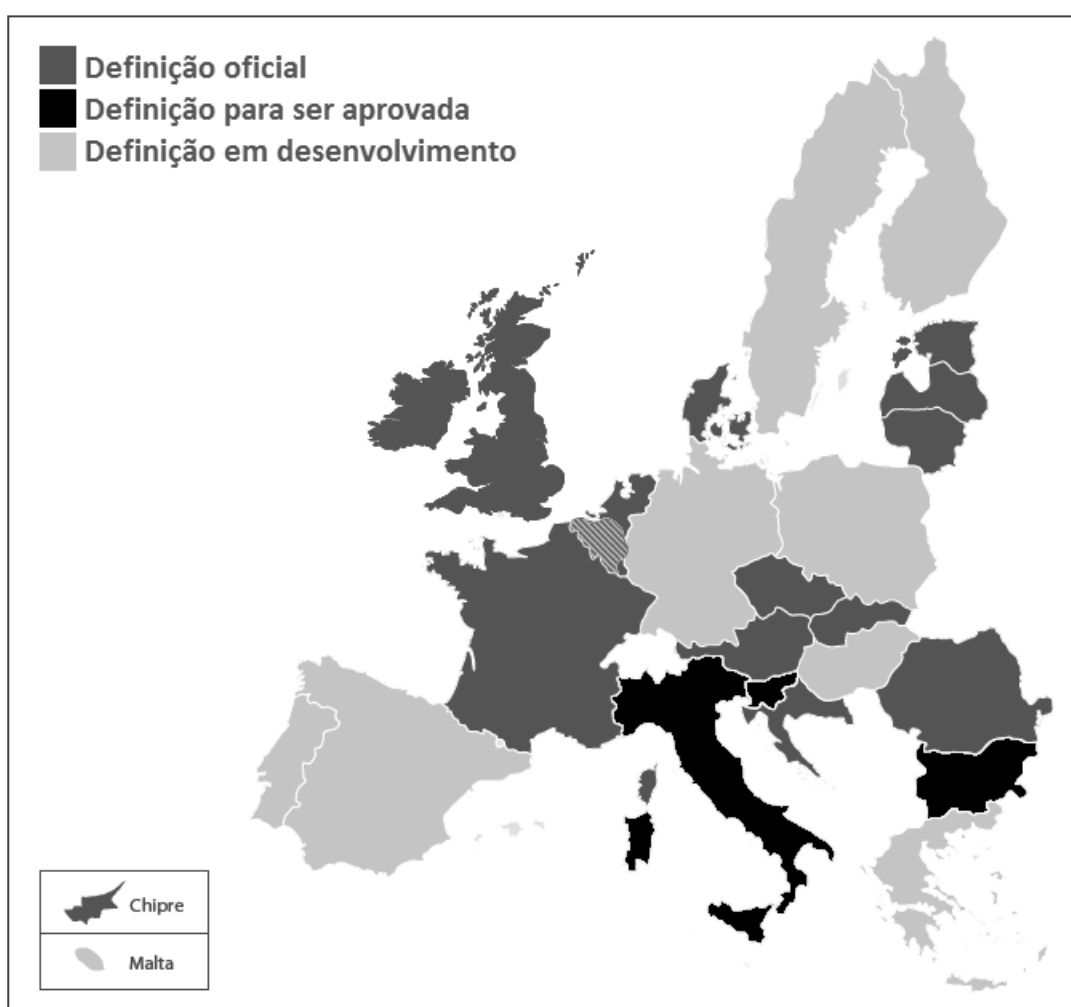


Figura 4 – Estados Membros e a situação de aprovação da sua definição nacional de nZEB para edifícios novos – adaptada de (17)

Relativamente aos edifícios existentes a EPBD refere que os Estados Membros devem incentivar a sua transformação em nZEB aquando uma renovação, contudo não estipula um prazo para a sua implementação como acontece para os edifícios novos. Pelo que apenas cerca de 40% dos Estados Membros atribuem critérios para a renovação dos edifícios em nZEB (17).

Como existem diversos parâmetros por definir na EPBD os Estados Membros adotaram diferentes caminhos para a criação da sua definição de nZEB.

A Tabela 1, adaptada de (17), representa de forma resumida os principais parâmetros da definição de nZEB por cada Estado Membro.

A maioria dos Estados Membros na sua definição de nZEB utiliza um máximo de energia primária como principal indicador do desempenho energético. Para os edifícios de habitação a maioria dos Estados Membros estabeleceu um máximo de energia primária não superior a 50 kWh/m² por ano. Normalmente para casas de família e para apartamentos são definidos requisitos diferentes e nas regiões mais frias são estabelecidos valores mais elevados. Nos edifícios não residenciais os valores variam consoante a tipo do edifício. De uma forma geral, devido a diferentes metodologias de cálculo, condições climáticas, tipologia do edifício, os valores de utilização da energia primária estabelecido pelos Estados Membros para os edifícios não residenciais vão até um máximo de 270 kWh/m² por ano (17).

Em alguns países como complemento à energia primária é utilizada as emissões de CO₂ como outro indicador, e noutros as emissões de CO₂ são utilizadas como indicador principal. Também muitos países definem requisitos em separado para a utilização da energia final (17).

Das definições criadas de nZEB alguns Estados Membros adotaram apenas um requerimento que normalmente foi a energia primária, as emissões de CO₂ ou a energia final. Enquanto outros incorporaram mais requisitos como por exemplo: propriedades térmicas da envolvente, máximo de perdas, mínimo de eficiência para todo o sistema do edifício ou partes constituintes dele (16).

A maioria dos Estados Membros optou por um tipo balanço entre a procura e geração realizado ao longo do ano e com a área climatizada como fator de normalização, todavia muitos ainda não definirem o tipo de balanço escolhido (4).

Tabela 1 – Resumo dos principais parâmetros da definição de nZEB por cada Estado Membro - adaptada de (17)

		Definição de nZEB para edifícios novos								Definição de nZEB para edifícios existentes			
Países		Situação da definição	Data de entrada em vigor		Tipos de energia usada contabilizados de acordo com EPBD [a]	Indicador numérico	Máximo de energia primária [kWh/m² por ano]		Fração de energia de fonte renovável	Outros indicadores	Situação da definição	Máximo de energia primária [kWh/m² por ano]	
			Edifícios públicos	Edifícios não públicos			Edifícios residenciais	Edifícios não residenciais				Edifícios residenciais	Edifícios não residenciais
Alemanha		Em desenvolvimento	1/1/2019	1/1/2021	Sim	Em desenvolvimento	40% da energia primária [c]		Fração mínima nos requisitos em vigor para todos os edifícios	[h]	Em desenvolvimento	55% da energia primária [c]	
Áustria		Oficial	1/1/2019	1/1/2021	Sim [b]	Sim	160	170 (a partir de 2021)	Fração mínima proposta em rascunho do guia para todos os edifícios	[h], emissões CO ₂	Oficial	200	250 (a partir de 2021)
Bélgica	região de Bruxelas	Oficial	1/1/2015	1/1/2015	Sim	Sim	45	~ 90 [g]	Qualitativa	[h], [i]	Oficial	54	~108 [g]
	região de Flandres	Oficial	1/1/2019	1/1/2021	Sim	Sim	30% da energia primária [c]	40% da energia primária [c]	Quantitativo [e]	[h], [i]	Em desenvolvimento		
	região de Valónia	Em desenvolvimento	1/1/2019	1/1/2019	Sim	Em desenvolvimento			Quantitativo	[h]	Em desenvolvimento		
Bulgária		Para aprovação	1/1/2019	1/1/2021	Sim	Para aprovação	~ 30-50	~ 40-60	Quantitativo	[h]	Igual aos edifícios novos	~ 30-50	~ 40-60
							Incluído no cálculo; edifícios têm de ser de classe A					Incluído no cálculo; edifícios têm de ser de classe A	
Chipre		Oficial	1/1/2019	1/1/2021	Sim	Sim	100	125	Quantitativo	[h]	Igual aos edf. novos	100	125
Croácia		Oficial	1/1/2019	1/1/2021	Sim	Sim	33-41 [f]	Em desenvolvimento	Fração mínima nos requisitos em vigor para todos os edifícios	[h]	Sem dados		
Dinamarca		Oficial	1/1/2019	1/1/2021	Sim	Sim	20	25	Qualitativo	[h], [i], [m]	Igual aos edf. novos	20	25

	Definição de nZEB para edifícios novos									Definição de nZEB para edifícios existentes		
Países	Situação da definição	Data de entrada em vigor		Tipos de energia usada contabilizados de acordo com EPBD [a]	Indicador numérico	Máximo de energia primária [kWh/m² por ano]		Fração de energia de fonte renovável	Outros indicadores	Situação da definição	Máximo de energia primária [kWh/m² por ano]	
		Edifícios públicos	Edifícios não públicos			Edifícios residenciais	Edifícios não residenciais				Edifícios residenciais	Edifícios não residenciais
Eslováquia	Oficial	1/1/2019	1/1/2021	Sem definição [d]	Sim	32-54 [g]	34-96 [g]	Quantitativo	[h]	Sem dados		
Eslovénia	Para aprovação	1/1/2019	1/1/2021	Sim	Para aprovação	45-50 [g]	70	Em desenvolvimento	[h]	Para aprovação	70-90 [g]	100
Espanha	Em desenvolvimento	1/1/2019	1/1/2021	Sim	Em desenvolvimento	Incluído no cálculo; está previsto os edifícios terem de ser de classe A		Fração mínima nos requisitos em vigor para todos os edifícios	Emissões CO ₂ (indicador principal)	Em desenvolvimento		
Estónia	Oficial	1/1/2019	1/1/2021	Sim [b]	Sim	50-100 [g]	90-270 [g]	Qualitativo		Sem definição		
Finlândia	Em desenvolvimento	1/1/2018	1/1/2021	Sim [b]	Sem dados			Sem dados		Sem dados		
França	Definição de <i>plus</i> ZEB em desenvolvimento	nZEB 28/10/2011	nZEB 1/1/2013	Sim	Sim	40-65 [g], [f]	70-110 [g],[f]	Quantitativo [e]	[h], [i], [m]	Oficial	80 [f]	60% da energia primária [g]
		Plus ZEB previstos a partir de 2020										
Grécia	Em desenvolvimento	1/1/2019	1/1/2021	Sem dados	Sem dados			Fração mínima nos requisitos em vigor para todos os edifícios		Em desenvolvimento		
Hungria	Em desenvolvimento	1/1/2019	1/1/2021	Sim	Em desenvolvimento	50-72 [g]	60-115 [g]	Quantitativo	[h]	Em desenvolvimento		
Irlanda	Oficial	1/1/2019	1/1/2021	Sim	Sim	45	~ 60% da energia primária [c]	Quantitativo [e]	Emissões CO ₂	Em desenvolvimento	75-150	

	Definição de nZEB para edifícios novos									Definição de nZEB para edifícios existentes		
Países	Situação da definição	Data de entrada em vigor		Tipos de energia usada contabilizados de acordo com EPBD [a]	Indicador numérico	Máximo de energia primária [kWh/m² por ano]		Fração de energia de fonte renovável	Outros indicadores	Situação da definição	Máximo de energia primária [kWh/m² por ano]	
		Edifícios públicos	Edifícios não públicos			Edifícios residenciais	Edifícios não residenciais				Edifícios residenciais	Edifícios não residenciais
Itália	Para aprovação	1/1/2019	1/1/2021	Sim	Para aprovação	Incluído na versão atualizada do plano nacional nZEB que está para vir [g], [f]		Quantitativo	[h], [m]	Igual aos edifícios novos	Incluído na versão atualizada do plano nacional nZEB que está para vir [g], [f]	
Letónia	Oficial	1/1/2019	1/1/2021	Sim	Sim	95	95	Quantitativo	[h]	Igual aos edf. novos	95	95
Lituânia	Oficial	1/1/2019	1/1/2021	Sim	Sim	Incluído no cálculo; edifícios têm de ser de classe A++		Quantitativo	[h]	Igual aos edf. novos	Incluído no cálculo; edifícios têm de ser de classe A++	
Luxemburgo	Oficial (detalhes p/ corrigir)	1/1/2019	1/1/2021	Sem definição [d]	Sim	Incluído no cálculo; edifícios têm de ser de classe A-A-A		Qualitativo	[h], emissões CO ₂	Sem dados		
Malta	Em desenvol- vimento	1/1/2019	1/1/2021	Sim	Valores em vigor a serem revistos	40	60	Qualitativo	[h]	Sem dados		
Países Baixos	Oficial	1/1/2019	1/1/2021	Sim	Sim	Incluído no cálculo; edifícios têm de ter um coeficiente de desempenho energético = 0		Sem definição	[h]	Sem dados		
Polónia	Em desen- volvimento	1/1/2019	1/1/2021	Sim	Em desenvol- vimento	60-75 [g]	45-70 [g]	Sem definição		Sem dados		
Portugal	Em desenvol- vimento	1/1/2019	1/1/2021	Sim	Nos requisitos em vigor para os edifícios			Sem definição		Sem dados		
Reino Unido (Inglaterra)	Oficial (detalhes p/ corrigir)	1/1/2018	1/1/2019	Sim	Sim	~ 44 [g]	Sem dados	Qualitativo	Emissões CO ₂ (indicador principal), [h],[m]	Sem dados		
		A partir de 2016 para edifícios residenciais [r]				Incluído no cálculo; edifícios têm de ter as emissões de CO ₂ ~ 0						

	Definição de nZEB para edifícios novos									Definição de nZEB para edifícios existentes		
Países	Situação da definição	Data de entrada em vigor		Tipos de energia usada contabilizados de acordo com EPBD [a]	Indicador numérico	Máximo de energia primária [kWh/m ² por ano]		Fração de energia de fonte renovável	Outros indicadores	Situação da definição	Máximo de energia primária [kWh/m ² por ano]	
		Edifícios públicos	Edifícios não públicos			Edifícios residenciais	Edifícios não residenciais				Edifícios residenciais	Edifícios não residenciais
República Checa	Oficial	2016-2018 Depen- dendo do tamanho	2018-2020 Depen- dendo do tamanho	Sim	Sim	75-80% energia primária não renovável [c],[g]	90% energia primária não renovável [c]	Quantitativo	[h], [m]	Igual aos edifícios novos	75-80% energia primária não renovável [c],[g]	90% energia primária não renovável [c]
Roménia	Oficial	1/1/2019	1/1/2021	Sim	Sim	93-217 [g], [f]	50-192 [g], [f]	Quantitativo	Emissões CO ₂	Sem dados		
Suécia	Em desen- volvimento	1/1/2019	1/1/2021	Sim	Em desenvol- vimento	30-75 [g], [f]	30-105 [g], [f]	Sem definição		Sem dados		

Legenda da Tabela 1:

[a] – A EPBD considera os seguintes tipos de energia usada a serem contabilizados para os edifícios residenciais: aquecimento, arrefecimento, aquecimento de água e ar condicionado. Para os edifícios não residenciais é acrescentada a iluminação.

[b] – A energia consumida pelos equipamentos é acrescentada à definição, tanto nos edifícios residenciais como não residenciais.

[c] – Consumo máximo de energia primária definido como percentagem do consumo de energia primária de um edifício de referência. Na República Checa a energia primária não renovável é considerada em vez da energia primária.

[d] – Sem arrefecimento para os edifícios residenciais.

[e] – Requisito dependente das medidas de fontes de energia renovável adotadas.

[f] – Dependendo da localização.

[g] – Dependendo do edifício referência.

[h] – Desempenho da envolvente

[i] – Indicador de sobreaquecimento

[m] – Desempenho dos sistemas técnicos

[r] – À parte da Inglaterra as metas dos outros países do Reino Unido são diferentes e pretendem ser revistos. A Irlanda do Norte está a tentar atingir o objetivo do Reino Unido de a partir de 2016 todos os edifícios novos serem de zero emissões de CO₂.

D'Agostino (4) conclui no seu estudo que a utilização de diferentes limites dos sistemas e a inclusão diferente dos vários tipos de energia utilizada provocaram grandes variações nas definições nacionais de nZEB descritas pelos Estados Membros. Também conclui que os níveis de eficiência energética, a inclusão da iluminação e equipamentos ou tipo de fontes de energia renovável utilizadas são aspetos difíceis de se encontrar um consenso. Conclui ainda que diferentes metodologias de cálculo e fluxos de energia contabilizados são a causa das grandes variações dos valores máximos de energia primária estabelecidos pelos Estados Membros (4).

No projeto realizado pelo *Concerted Action EPBD* (16) é feito um levantamento de casos práticos encontrados nos Estados Membros de edifícios existentes com um desempenho energético ao nível do que é esperado de um nZEB (consultar na página 67 de (16) o tópico 3.5). De uma forma geral encontraram uma grande variedade das propriedades da envolvente dos edifícios, dos tipos de sistemas técnicos e das fontes de energia renováveis usadas. Verificaram que as tecnologias mais utilizadas foram as seguintes: bom isolamento, janelas de elevado desempenho, sistemas mecânicos de ventilação com recuperação de calor, bombas de calor e aplicações com sistemas fotovoltaicos. Notaram ainda que consoante os tipos de climas se encontram diferentes soluções, pelo que existem soluções que são menos frequentemente adotadas dos países da Europa do Sul. No caso específico dos apartamentos, que representam uma porção significativa dos edifícios europeus e bastantes semelhanças entre países, verificou-se no que se trata a edifícios tipo nZEB encontrou-se conceitos de construção comparáveis e abordagens de financiamento interessantes. Apontam que a maioria dos apartamentos tipos nZEB estudados apresentou custos acessíveis e atração financeira para os inquilinos. Também que vários dos seus ocupantes se sentem satisfeitos e que melhoraram a sua qualidade de vida. Nos casos particulares de casas de moradia verificaram que muitas vezes se encontraram diferenças significativas entre o desempenho energético do edifício calculado e os resultados medidos. Contudo existem países que têm mais prática na construção desse tipo de edifícios pelo que conseguem determinar melhor esses cálculos resultando em diferenças mais pequenas. No caso dos edifícios públicos existem vários Estados Membros que estão a utilizar este setor como exemplo de aplicação dos nZEB. Para tal já estão a ser aplicados diversos

instrumentos como por exemplo: apoios financeiros para as comunidades, programas de investigação e requisitos de desempenho energético mais exigentes (16).

Nesse levantamento aos casos práticos realizado pelo *Concerted Action EPBD* (16) é feito um ponto de destaque aos Estados Membros localizados mais a sul na Europa. Apontam que o principal desafio nestes países de clima mais quente é garantir o conforto no ambiente interior sem haver grandes necessidades de arrefecimento. Recomendam ser importante inserir medidas específicas de conforto térmico nos requisitos de eficiência energética dos nZEB. Dos dados recolhidos deste projeto notaram que as tecnologias mais utilizadas pelos Estados Membros para reduzir as necessidades de arrefecimento foram as seguintes: proteções solares, ventilação noturna, sistemas de ventilação com *bypass* e permutador de calor terra-ar para pré-arrefecimento do ar de ventilação. Quando é necessário o arrefecimento mecânico as bombas de calor reversíveis foram a solução mais adotada. Dessas informações, o projeto concluiu que o sombreamento e a ventilação noturna são estratégias mais importante de arrefecimento passivo e que apenas se pode fazer uso da massa térmica do edifício de forma eficaz em climas com diferenças significativas da temperatura do ar exterior de dia para a da noite. Verificaram ainda que em França, Grécia e Portugal os permutadores de calor terra-ar para ventilação funcionam bem e permitem reduzir as necessidades energéticas pois funcionam tanto para arrefecimento como para aquecimento (16).

Os Estados Membros estão a trabalhar para melhorar o desempenho energético dos edifícios da UE, contudo estão com dificuldades em criar medidas para renovar e melhorar os edifícios existentes (16). Como já foi mencionado anteriormente existe um grande potencial de poupança e de melhoramento energético através da remodelação dos edifícios existentes que apresentam fraco desempenho energético. Pelo que é urgente implementar medidas para agir nesse sentido, tal como é incentivado pela EPBD.

A principal conclusão deste projeto (17) do BPIE é que os Estados Membros estão a trabalhar com diferentes níveis de ambição nos requisitos de implementação dos nZEB. Também que uma definição mais objetiva do que a Comissão Europeia pretende com os nZEB resultaria numa aproximação mais coerente pelos governos nacionais, permitindo assim cumprir com mais rigor as exigências da UE (17).

A questão do quão baixas devem ser as “necessidades quase nulas” de energia dos edifícios continua sem resposta e por isso não há previsão de como vão ser, pelo que requiere monitorização dos nZEB existentes e dos futuros também (17).

2.2.4 Os nZEB tendo por base o padrão *Passivhaus*

As dúvidas do conceito da EPBD e as discrepâncias entre as definições criadas pelos Estados Membros podiam ser postas de lado através da aplicação do padrão *Passivhaus* aos edifícios europeus. Este conceito, que vai ser explicado com mais detalhe no tópico 2.3, origina edifícios com melhor desempenho energético do que quase todas as soluções apresentadas pelos Estados Membros (consultar Tabela 1). A *Passivhaus* tem mais de 20 anos de existência e com provas dadas do seu sucesso. O padrão *Passivhaus* origina edifícios de grande eficiência energética, sem comprometer o conforto, e de forma economicamente viável (5). Dequaire concluiu no seu estudo a diferentes conceitos de edifícios com necessidades energéticas baixas que não há outro que consiga resultados melhores do que a *Passivhaus* (7). Para além do referido anteriormente, o conceito *Passivhaus* distingue-se ainda pela sua aplicabilidade geral, isto é pode ser aplicado a qualquer tipo de edifício e em qualquer tipo de clima. Também na vertente das renovações este padrão é útil pois deste conceito foi criado o padrão *EnerPHit* para as remodelações de edifícios que por razões de custo-benefício não conseguem cumprir o padrão *Passivhaus* (9).

Com isto, e quando associada às energias renováveis, o padrão *Passivhaus* cumpre os requisitos da EPBD resultando na base ideal para os nZEB. Este facto foi estudado pelo projeto PassReg que tem como um dos objetivos principais a implementação de edifícios nZEB pelas cidades europeias, tendo por base a *Passivhaus*. O projeto PassReg contou com 14 parceiros de 11 países europeus e realizou-se de maio de 2012 a abril de 2015. Nas regiões participantes foram construídos edifícios nZEB através do padrão *Passivhaus* associado a energias renováveis, que servem para satisfazer as necessidades energéticas muito baixas desse tipo de edifícios muito eficientes (5,19).

2.3 O padrão *Passivhaus*

2.3.1 O que é o padrão *Passivhaus*?

O padrão *Passivhaus* é um conceito de construção muito eficiente, associado a elevados níveis de conforto, boa qualidade de ar interior e é acessível economicamente (9).

Uma *Passivhaus* apresenta poupanças de energia para aquecimento e arrefecimento de cerca de 90% comparativamente ao edifício convencional e de mais de 75% em relação aos novos edifícios europeus (21).

As baixas necessidades energéticas de uma *Passivhaus* podem ser satisfeitas recorrendo a energias renováveis, proporcionando independência à volatilidade do mercado energético e ao aumento dos preços da energia (9). Esta possível parceria permite reduzir as emissões de CO₂ que independentemente da utilização de renováveis já são baixas numa *Passivhaus* (5). Segundo vários estudos, ao aplicar o padrão *Passivhaus* consegue-se de forma eficaz aumentar a eficiência energética dos edifícios e limitar as emissões de GEE (6).

O facto de se usar o termo alemão *Passivhaus* e não a tradução em português “casa passiva” é porque esse conceito é diferente do que se entende por casa passiva que está mais relacionada com a vertente solar passiva. Uma *Passivhaus* pode fazer uso dos ganhos solares passivos, contudo se um edifício for construído num sítio com pouco acesso a radiação solar também é possível fazê-lo segundo o padrão *Passivhaus* (22). A *Passivhaus* tem esse nome devido à forma como o edifício utiliza os ganhos de calor passivos fornecidos externamente pela radiação solar e internamente pela energia dissipada pelos ocupantes e equipamentos (20).

O princípio básico da *Passivhaus* é minimizar os fluxos de calor entre o interior e o exterior do edifício através da qualidade das características da envolvente do edifício (22). Características como o bom isolamento e vãos envidraçados adequados permitem manter o edifício confortável todo o ano, ou seja quente no inverno e fresco no verão (21). Pelo que a ideia deste conceito é evitar as perdas ou ganhos de calor indesejados, promovendo assim uma eficiência energética assente em medidas passivas que garantem elevada qualidade de conforto térmico aos ocupantes do edifício (23).

2.3.2 Definição do padrão *Passivhaus*

Como se pode notar pelo referido anteriormente, o padrão *Passivhaus* procura ter um excelente desempenho energético aliado a elevados níveis de conforto térmico. Esta ideia está expressada na definição oficial do padrão *Passivhaus* transcrita de seguida:

“Uma Passivhaus é um edifício, para o qual o conforto térmico (ISO 7730) pode ser conseguido apenas por pós-aquecimento ou pós-arrefecimento da massa de ar fresco, que é necessária para atingir as suficientes condições de qualidade do ar interior – sem a necessidade de recirculação adicional de ar.” (23)

Esta definição sem valores numéricos permite dar flexibilidade a este conceito, tornando-a funcional para qualquer tipo de edifício e clima (23). Assim, dependendo da tipologia do edifício, clima local e outras condições mantém-se a metodologia mas serão necessárias adaptações, variando as propriedades dos componentes individuais de cada edifício (9).

Desde que o edifício satisfaça os requisitos exigidos pelo padrão *Passivhaus*, cabe aos projetistas encontrar a melhor forma para os cumprir. Pelo que os edifícios em termos estéticos misturam-se bem com a sua vizinhança, uma vez que este conceito procura um certo desempenho e não um tipo específico de construção (9).

2.3.3 Os cinco fundamentos básicos da *Passivhaus*

O padrão *Passivhaus* deriva do projeto de pesquisa realizado pelo Professor Bo Adamson e o físico Doutor Wolfgang Feist (24). Esse projeto teve o objetivo de minimizar as necessidades energéticas de um edifício através da otimização de todos os seus componentes. Para provar o conceito descoberto, em 1991 foi construído um edifício residencial em Darmstadt-Kranichstein, na Alemanha (22).

Das características desse edifício que foi batizado como a primeira *Passivhaus* resultaram os cinco fundamentos pelos quais o conceito se baseia (8):

- 1) Excelente isolamento térmico;
- 2) Vãos envidraçados adequados;
- 3) Construção livre de pontes térmicas;
- 4) Edifício estanque ao ar;
- 5) Sistema de ventilação com recuperação de calor.

1) Excelente isolamento térmico

A envolvente exterior de um edifício muito bem isolada permite não só manter o edifício quente no inverno como mantê-lo fresco no verão, garantindo o conforto térmico do ambiente interior independentemente das condições climatéricas. A envolvente do edifício compreende todos os elementos que separam o interior do exterior do edifício (25).

Os níveis de isolamento dependem não só do tipo de clima, como do tipo de edifício, sua orientação e ainda da qualidade de outros elementos, por exemplo: envidraçados de maior qualidade podem permitir reduzir no nível de isolamento (9).

Nos edifícios existentes mais de 70% das perdas de energia sob a forma de calor acontecem através das paredes exteriores e pela cobertura do edifício, pelo que melhorar o isolamento é a forma mais eficaz de poupar na energia e consequentemente diminuir as emissões de GEE. Também permite melhorar o conforto e prevenir danos estruturais do edifício (25).

Um bom isolamento pode ser conseguido em qualquer método construtivo, por exemplo pré-fabricados, blocos ou madeira. Também nos edifícios existentes é possível reforçar o nível de isolamento (25).

Pelo que deve-se investir num bom isolamento em termos de proteção térmica, uma vez que é compensado pelas boas poupanças energéticas. Tende em mente o lema: “se é para fazer, faz bem feito” (25).

A propriedade física que define o nível de isolamento de um componente da envolvente exterior do edifício é o coeficiente global de transferência de calor, também conhecido como o valor de U, que tem como unidade de medida o $W/(m^2K)$. Este valor indica a quantidade de calor transferido através de uma determinada área de um componente específico da envolvente quando a diferença de temperatura entre o interior e o exterior é de $1^{\circ}C$. Portanto quanto menor é valor de U melhor é o nível de isolamento (25).

Existem diversos materiais que podem constituir a envolvente do edifício e como tal existem diferentes combinações que permitem obter um determinado valor de U. Dentro dos materiais que podem servir como elemento isolante existem uns que têm maior capacidade de isolamento que outros. Os materiais são melhores isolantes quanto menor for a sua condutividade térmica. A condutividade térmica tem como unidade de medida o $W/(mK)$. Quanto menor for a condutividade térmica de um material menor será espessura da sua camada na envolvente para esta ter um

determinado valor de U. Como exemplo disso o Quadro 2, adaptado de (25), indica diferentes materiais e as respetivas espessuras para se obter um valor de U de 0,13 W/(m²K) (25).

Quadro 2 – Relação entre a condutividade térmica e a espessura de diferentes materiais para se obter o mesmo valor de $U = 0,13 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ – adaptado de (25)

Material	Condutividade térmica em W/(mK)	Espessura do material em metros
Betão armado	2,300	17,30
Tijolo maciço	0,800	6,02
Tijolo perfurado	0,400	3,01
Madeira de construção	0,130	0,98
Betão poroso	0,110	0,83
Palha	0,055	0,41
Material de isolamento típico (por exemplo lã mineral)	0,040	0,30
Material de isolamento convencional de alta qualidade	0,025	0,19
Material super isolante nanoporoso de pressão normal	0,015	0,11
Material de isolamento a vácuo (sílica)	0,008	0,06

Para um edifício atingir os requisitos *Passivhaus* no clima da Europa Central já se estabeleceram valores de U para a envolvente exterior opaca do edifício, sendo que os valores encontram-se no intervalo de 0,10 a 0,15 W/(m²K) (25).

2) Vãos envidraçados adequados

Os envidraçados precisam de especial atenção e planeamento uma vez que podem garantir uma boa quantidade de luz natural e permitem aquecer o edifício através da energia solar. Dependendo das condições climáticas locais escolhe-se o tipo de envidraçado a usar e, quando necessário, o sombreamento. Principalmente em locais com necessidades de arrefecimento o sombreamento é crucial, sem esquecer que deve ser sempre colocado no exterior (9).

Existem várias opções de caixilharias e vidros com variações de níveis de isolamento que devem ser escolhidos de forma a garantir o conforto térmico (9).

Portanto, as janelas *Passivhaus* devem cumprir o seguinte critério de conforto: durante o dia mais frio de inverno a temperatura média da superfície interna dos envidraçados deve ser no máximo 3°C inferior à temperatura do ambiente interior do edifício (26). Assim, a temperatura média da superfície interna dos envidraçados nunca deve ser inferior a 17°C, sem o auxílio de radiadores colocados sob as mesmas. Seguindo este parâmetro as janelas *Passivhaus* previnem a criação de condensações e crescimento de bolores (9).

Baseando-se no requisito de conforto para as janelas *Passivhaus* consegue determinar o valor de U do envidraçado mais adequado para cada tipo de clima. Na Europa Central a média da temperatura mais baixa de inverno é de -10°C pelo que já foi estabelecido que o valor de U das janelas *Passivhaus* deve ser igual ou inferior a 0,8 W/(m²K) (26).

O valor de U de um envidraçado indica as perdas energéticas através da janela e é influenciado pelo tipo de vidro, caixilharia, espaçamento e pelo rácio entre o vidro e sua caixilharia. Para determinar o valor de U de um envidraçado o padrão *Passivhaus* remete para a norma europeia EN 10077 (26).

Para além do valor de U num envidraçado importa atender ao fator solar do vidro uma vez que influencia a quantidade de radiação solar direta e indireta que entra pela janela. O fator solar indica a quantidade de radiação solar incidente perpendicularmente ao vidro. Para o clima da Europa Central foi estabelecido que o valor do fator solar do vidro deve estar na ordem de 0,5 (26).

Uma janela *Passivhaus* deve ser corretamente instalada por forma a conseguir-se prolongar o quanto possível o isolamento térmico da envolvente do edifício sobre o caixilho, promovendo o bom isolamento do envidraçado e minimizando as pontes térmicas associadas aos vãos envidraçados. Se essa instalação não for bem aplicada o valor de U do envidraçado pode aumentar até 50%, ou seja, aumenta-se as perdas energéticas (20).

3) Construção livre de pontes térmicas

As pontes térmicas são certas áreas na envolvente do edifício em que a resistência é menor devido a uma diminuição do nível de isolamento nesse local comparativamente às áreas adjacentes da envolvente. Essa menor resistência

promove uma ponte entre o interior e o exterior do edifício, aumentando o fluxo de calor nessa zona da envolvente. As pontes térmicas acontecem nas seguintes zonas da envolvente: arestas, cantos, ligações e penetrações. A Figura 5 representa alguns pontos críticos no edifício onde acontecem as pontes térmicas que devem ser mitigadas (9,27).

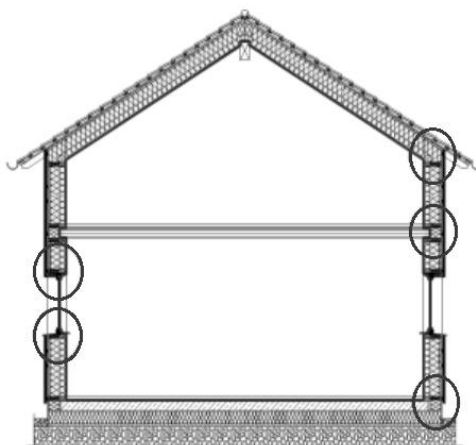


Figura 5 – Identificação de pontes térmicas na envolvente do edifício - adaptada de (27)

Prevenir este fenómeno é um dos métodos mais eficientes para poupar energia. O objetivo de uma *Passivhaus* é mitigá-lo de tal forma que o seu efeito é insignificante nos cálculos energéticos, tornando característico de uma *Passivhaus* uma construção livre de pontes térmicas (9).

As pontes térmicas provocam o aumento de perdas de calor fazendo diminuir a temperatura da superfície interna da envolvente exterior, que pode originar condensações e promover, assim, o crescimento de bolores nas paredes. Pelo que uma construção livre de pontes térmicas previne danos na estrutura do edifício (27).

Logo, as pontes térmicas afetam a eficiência energética e o conforto térmico de um edifício. Sendo que o efeito das pontes térmicas é mais perceptível nos edifícios com elevado desempenho energético. Como esses edifícios apresentam um elevado nível de isolamento, quando há uma ponte térmica o desempenho do edifício nessa zona é pior do que nas zonas adjacentes, notando-se mais o efeito das perdas energéticas (28).

Existem dois grandes tipos de pontes térmicas: as pontes térmicas geométricas e as de construção (28).

As pontes térmicas geométricas devem-se à geometria do edifício e são aquelas que se encontram sempre presentes mesmo mantendo o nível de isolamento. Normalmente encontra-se este tipo de ponte térmica quando a área exterior das perdas de calor é maior do que a correspondente área interna da envolvente, por exemplo: cantos das paredes externas e os vãos das janelas e portas. Logo quanto maior for a complexidade da geometria de um edifício maior será o número de pontes térmicas, pelo que se aconselha uma geometria simples (28).

As pontes térmicas de construção acontecem quando um elemento construtivo atravessa a camada de isolamento, ou quando existe um intervalo no isolamento. Por exemplo: vigas, pilares, lintéis, lacunas da camada de isolamento. Com um bom planeamento na fase de construção é possível minimizar o efeito deste tipo de pontes térmicas (28).

As pontes térmicas geométricas e de construção podem ainda ser divididas nos seguintes subtipos (28):

- Pontes térmicas lineares – quando a ponte térmica tem um determinado comprimento, por exemplo: ombreira;
- Pontes térmicas pontuais – quando a ponte térmica acontece apenas num ponto específico, por exemplo: parafuso;
- Pontes térmicas repetidas – quando existe uma ponte térmica que se repete em intervalos regulares dentro de um elemento da envolvente térmica, por exemplo: pilares estruturais.

O padrão *Passivhaus* adotou o seguinte método de cálculo simplificado para determinar as pontes térmicas de um edifício (28):

- quando o valor de uma ponte térmica linear é inferior a $0,01 \text{ W/(mK)}$, atendendo às dimensões externas do edifício, esta não precisa de ser contabilizada;
- as pontes térmicas pontuais também não são contabilizadas, excetuando aquelas provocadas por materiais de elevada condutividade térmica como é o caso do aço;
- quando se mantém dois terços da espessura do material isolante ou o equivalente da sua condutividade térmica não se contabiliza a ponte térmica associada;

- as pontes térmicas repetidas dentro de elementos da envolvente do edifício, por exemplo as vigas, são contabilizadas no cálculo do valor de U daquele elemento da envolvente;
- as pontes térmicas associadas a vãos de envidraçados e portas são contabilizadas no cálculo do valor de U desse elemento.

Portanto, para se considerar que um edifício tem uma construção livre de pontes térmicas o padrão *Passivhaus* exige que o valor das perdas energéticas associado a uma ponte térmica linear deve ser inferior a 0,01 W/(mK), atendendo às dimensões externas (27,28).

4) Edifício estanque ao ar

As correntes de ar provocadas por infiltrações existentes nos edifícios não são agradáveis nem suficientes para manter a qualidade do ar interior (9). Um edifício estanque ao ar elimina essas correntes de ar e evita que se crie qualquer tipo de condensação no interior da estrutura do edifício e o danifique. Também contribui para um melhor isolamento acústico (29).

As perdas energéticas provocadas por infiltrações de ar são difíceis de detetar e calcular pelo que um edifício estanque evita essa situação. Assim o desempenho de um edifício melhora com a envolvente hermética pois consegue-se eliminar as perdas derivadas das infiltrações (29).

A envolvente hermética característica de uma *Passivhaus* deve ser cuidadosamente planeada e implementada. Deve-se ter atenção a cada detalhe como as ligações e as penetrações inevitáveis, algo que deve ficar definido na fase de planeamento. A camada hermética deve ser única e ininterrupta, envolvendo todo o espaço aquecido do edifício, só assim este será estanque. Respeitando a regra do lápis que indica que se deve conseguir desenhar a camada estanque à volta do edifício sem nunca ter de levantar o lápis (29).

Quase todos os materiais de isolamento não são herméticos pelo que a camada estanque e o isolamento são duas componentes que devem ser construídas em separado (29).

O nível de estanquidade ao ar é avaliado pelo teste da porta ventiladora que é um teste de pressão de ar efetuado ao edifício para determinar as infiltrações de ar. A porta ventiladora é colocada numa abertura da envolvente do edifício, por exemplo a

abertura da porta, e o compressor que se encontra incorporado nessa porta ventiladora provoca um diferencial de pressão de ar no valor de 50 Pascal. Depois submete-se o edifício a diversas sob e sobrepressões, medindo-se as infiltrações através da envolvente ocorridas por hora em relação ao volume total do edifício (29).

Para cumprir o parâmetro da estanquidade ao ar, o padrão *Passivhaus* exige que a uma diferença de pressão de 50 Pascal entre o interior e exterior do edifício a taxa de renovação de ar deve ter um valor máximo de 0,6 renovações por hora (29).

Quando se pretende construir um edifício estanque ao ar os custos de se obter os valores exigidos pela *Passivhaus* não são assim tão elevados como obter valores um pouco menos exigentes. Pelo que compensa investir numa camada hermética ao nível do critério *Passivhaus* pois garante-se um melhor desempenho do edifício, tanto em termos energéticos como da estrutura do edifício (29).

Por fim é a envolvente estanque que permite que o sistema de ventilação da *Passivhaus* funcione com a máxima eficiência possível (9).

5) Sistema de ventilação com recuperação de calor

Todos os edifícios precisam que o seu ar interior seja renovado de modo a garantir a qualidade do ar e as condições higiénicas de saúde para os seus ocupantes. Assim os criadores do conceito *Passivhaus* colocaram a hipótese de utilizar o ar como o elemento transportador de calor para aquecimento do edifício (21).

A quantidade de ar que entra por uma janela depende do seu tamanho, da localização do edifício, das condições climatéricas, entre outros fatores. Mas de uma forma geral para garantir a qualidade de ar interior de um edifício apenas com abertura das janelas, seria necessário abri-las por completo durante 5 a 10 minutos de 3 em 3 horas ao longo de todo o dia (30).

Como a ventilação através das janelas, que é considerada ventilação natural é algo inconstante e pouco controlável, dificilmente se consegue garantir a qualidade do ar interior apenas recorrendo a este tipo de ventilação. Logo existe a necessidade de se recorrer a um sistema de ventilação mecânica que fornece as quantidades certas de ar fresco ao edifício (9).

Acoplando o sistema de ventilação mecânica a um permutador de calor (ver Figura 6) é possível aproveitar o calor do ar extraído para aquecer o ar fresco que é fornecido ao edifício, permitindo aquecer o ambiente interior (9). Foi assim que surgiu

a definição do padrão *Passivhaus*, um edifício muito eficiente em que as condições de conforto são garantidas apenas pela circulação do ar fresco necessário para garantir a qualidade de ar interior, sem haver introdução de quantidades de ar extras nem recirculação de ar que comprometeria as condições de higiene (21).

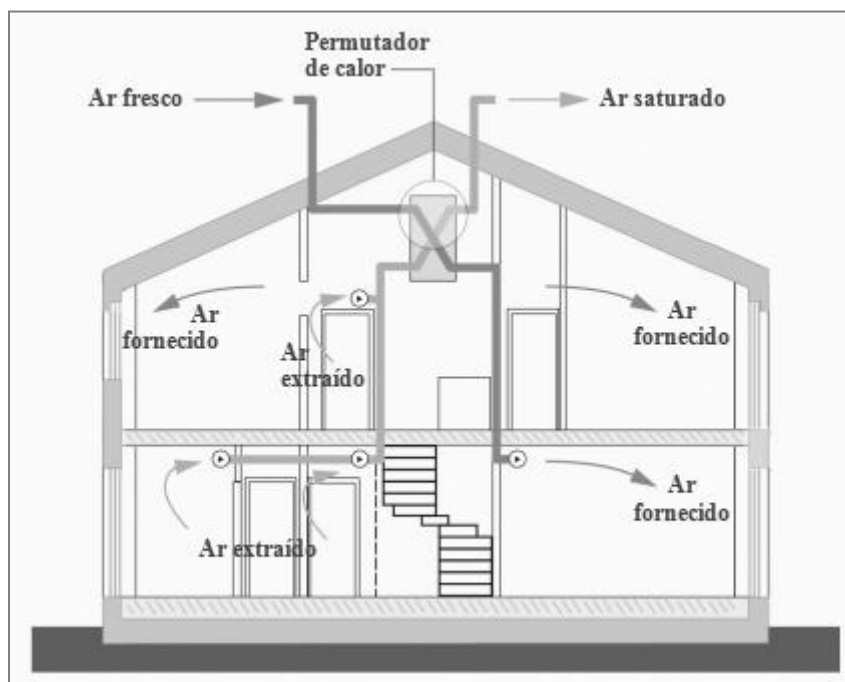


Figura 6 – Sistema de ventilação mecânica com recuperação de calor - adaptada de (8)

Um sistema de ventilação mecânica é constituído por uma conduta que entra no edifício com um ventilador que insufla ar fresco para o interior e mais outra conduta que sai do edifício com um ventilador que extrai o ar saturado para o exterior. Ao contrário da ventilação natural, a ventilação mecânica é motorizada e controlável (31).

Se o clima exige arrefecimento existem sistemas de ventilação com recuperação de calor que tem uma função de *bypass* para quando não for necessário usar a recuperação de calor, evitando situações de sobreaquecimento do ambiente interior (31).

Existem tipos especiais de permutadores de calor com a possibilidade de recuperar humidade sendo uma opção eficiente em climas extremos seja nos frios ou nos quentes e húmidos (30).

Ainda em situações de necessidade de arrefecimento, quando a temperatura do ar exterior é menor que a do interior e o ar exterior não é excessivamente húmido deve-se fazer uso da ventilação natural através da abertura de janelas (9).

O sistema de ventilação existe numa *Passivhaus* para garantir a qualidade do ar interior mesmo com as janelas fechadas, o que não impede o utilizador de abrir as janelas quando quiser. Mesmo que as condições não sejam as ideais a abertura de janelas não afeta significativamente o sistema de ventilação. Quando o utilizador se sentir desconfortável pode simplesmente voltar a fechar as janelas, sem comprometer a qualidade de ar interior, o que num edifício convencional não se verifica. Quando necessário e nas condições adequadas a abertura das janelas ajuda a reduzir as necessidades de arrefecimento (32).

Para além de garantir a quantidade certa de ar fresco, o sistema de ventilação com recuperação de calor fornece ar limpo uma vez que contém um filtro que remove o pólen, poeiras e poluição. Este filtro também ajuda a proteger o próprio sistema impedindo que haja bloqueios provocados pelos detritos do ar (31).

A eficiência do sistema de ventilação depende não só dos seus componentes como também depende da estanquidade da envolvente externa do edifício, pois só com o edifício estanque o sistema de ventilação funciona na sua máxima eficiência. Assim o ar fresco é fornecido de forma controlada ao edifício, o ar saturado é adequadamente extraído e o seu calor é aproveitado da melhor forma possível (31).

O padrão *Passivhaus* exige que o sistema de ventilação com recuperação de calor instalado no edifício tenha uma eficiência energética de pelo menos 75% (31).

Os sistemas de ventilação com recuperação de calor com elevada eficiência conseguem transferir mais de 75% do calor do ar extraído para o ar fresco insuflado para o interior. Por exemplo, se o ar exterior estiver a 0°C esse sistema de ventilação permitirá recuperar o calor do ar extraído a 20°C fazendo com que o ar fresco entre a 15°C, sem recorrer a qualquer outro sistema ativo de aquecimento (9).

Por fim, importa enfatizar que as poupanças energéticas obtidas com o sistema de ventilação com recuperação de calor são superiores à energia consumida no seu funcionamento (9).

2.3.4 Elevados níveis de conforto térmico na *Passivhaus*

Ao examinar a definição do padrão *Passivhaus* verifica-se que os critérios de conforto térmico estão muito presentes neste conceito de construção de elevada eficiência energética. Pelo que um edifício *Passivhaus* é muito eficiente energeticamente sem comprometer os elevados níveis de conforto térmico. Assim sendo o padrão *Passivhaus* respeita a norma ISO 7730 no que toca ao cumprimento de uma ótima qualidade de conforto térmico (23).

Os fatores que influenciam o conforto térmico foram estudados pelo cientista Ole Fanger cujos resultados foram incorporados em diversas normas internacionais como é o caso da ISO 7730. Verificou que o conforto sentido dentro de um edifício depende essencialmente do conforto térmico. Também que o ótimo conforto térmico é estabelecido quando o calor libertado pelo corpo humano é igual ao calor produzido, deste facto derivou uma equação de conforto (33).

Essa equação ficou conhecida pela equação de conforto de Fanger e cria uma relação entre as atividades humanas, o vestuário e as condições térmicas presentes. Nas atividades humanas temos como exemplos: o caminhar, o correr, o dormir; e no vestuário os diferentes níveis, desde o mais leve e fresco para o mais pesado e quente. Os fatores que afetam as condições térmicas a que as pessoas estão sujeitas são os seguintes: temperatura, humidade, velocidade e turbulência do ar e a temperatura das superfícies que se encontram nas proximidades. Existe uma variedade de combinações desses fatores na qual o nível de conforto é considerado muito bom, tendo ficado conhecido como o intervalo de conforto. Esse intervalo de conforto é determinado pela equação de Fanger que também está presente na ISO 7730 (33).

Relativamente ao conforto térmico o padrão *Passivhaus* exige que este deve ser garantido em todas as áreas internas à envolvente térmica de um edifício ao longo de todo ano. Também exige que a ocorrência de sobreaquecimento nunca deve ultrapassar mais de 10% do tempo num determinado ano. Considera-se sobreaquecimento quando a temperatura do ambiente interior é superior a 25°C (9).

2.3.5 Consumos energéticos na *Passivhaus*

A unidade de medida do padrão *Passivhaus* relativamente aos consumos energéticos é dada em função da área tratada. Esta área foi estabelecida pelo padrão e é comparável à área habitável climatizada. Na área tratada as zonas não climatizadas como garagens e vãos de escadas não são contabilizadas, e zonas de arrumos e com tetos baixos são contabilizadas parcialmente (34,35).

Usa-se valores específicos e não os absolutos para cada edifício poder adaptar as condições impostas ao seu tamanho (34).

Quando se comparam valores é preciso atender às unidades, a maioria dos outros padrões utilizam áreas maiores como referência do que o padrão *Passivhaus* fazendo parecer que a energia utilizada é menor do que realmente é (35).

Relativamente aos consumos de energia primária o padrão *Passivhaus* exige que não devem ser superiores a 120 kWh/m^2 por ano. Nesses consumos de energia primária estão incluídos aquecimento, arrefecimento, água quente sanitária (AQS) e equipamentos elétricos. Nem todos os padrões são assim, sendo que a maioria não contabiliza a energia associada aos equipamentos elétricos, logo o padrão *Passivhaus* é o mais exigente (35).

O padrão *Passivhaus* exige que a carga máxima de aquecimento deve ser inferior a 10 W/m^2 para que seja possível climatizar o ambiente interior apenas com o ar fornecido ao edifício, necessário para manter a qualidade do ar interior (21). Esse valor foi obtido através dos cálculos explicados de seguida e baseados em parâmetros independentes do tipo de clima. Pelo que consoante o tipo de clima em que o edifício for construído, tem que se adequar o seu nível de isolamento de modo a satisfazer este critério *Passivhaus* (23).

O valor da carga máxima de aquecimento no padrão *Passivhaus* foi determinado através do fluxo de calor que o ar fornecido por pessoa para garantir a boa qualidade de ar interior consegue transportar. De acordo com a EN 13779, para garantir a boa qualidade de ar interior uma pessoa precisa de cerca de 30 m^3 de ar fresco por hora. Também que o ar fornecido só pode ser aquecido até 50°C , pois acima desse valor há o risco de queimar as poeiras existentes no ar. E ainda que a uma temperatura aproximada de 21°C , que é considerada uma temperatura mínima de conforto pela ISO 7730, e pressão normal a capacidade específica de calor do ar é de $0,33 \text{ Wh/(m}^3\text{K)}$ (23).

Consegue-se determinar o fluxo de calor que o ar fornecido por pessoa transporta:

$$30 \text{ m}^3/\text{h por pessoa} \times 0,33 \text{ Wh}/(\text{m}^3\text{K}) \times (50 - 20) \text{ K} \approx 300 \text{ W por pessoa (23)}.$$

Logo o ar fresco consegue fornecer 300 W de calor por pessoa. Assumindo 30 m² de espaço habitável climatizado por pessoa, o padrão *Passivhaus* estabeleceu que o máximo de carga de aquecimento a um dado ponto não pode exceder os 10 W por m² de espaço habitável climatizado (23).

Esse valor de carga máxima é dado sob forma de potência, em W, contudo os consumos energéticos normalmente aparecem sob a forma de energia, em Wh. Para o caso dos climas da Europa Central estabeleceu-se que as necessidades de aquecimento devem estar abaixo 15 kWh/m² por ano de modo a garantir a carga máxima de aquecimento abaixo dos 10W/m². Em climas mais frios que o da Europa Central esse valor poderá ser maior, e em climas mais quentes poderá ser menor (23).

Contudo em termos de critério para ser *Passivhaus* é aceite que se respeite o valor de carga máxima de aquecimento ser inferior aos 10 W por m² de espaço habitável climatizado ou as necessidades de aquecimento estarem abaixo 15 kWh por m² de espaço habitável climatizado por ano (23).

Para a carga máxima de arrefecimento o valor é o mesmo da carga máxima de aquecimento (9).

2.3.6 A influência do fator de forma numa *Passivhaus*

Como foi explicado no tópico das pontes térmicas uma geometria irregular promove esse fenómeno indesejado. Mas não é apenas a falta de simplicidade na geometria de um edifício que afeta o seu desempenho, também a compactidade da forma é importante.

O fator de forma entre a envolvente térmica do edifício e a área habitável climatizada é uma medida que permite comparar o compactidade do edifício com a eficiência da sua envolvente. Indicando a razão entre o calor perdido através da envolvente térmica e a área habitável climatizada através da seguinte equação (36):

$$\text{Fator de forma das perdas de calor} = \frac{\text{Superfície externa da envolvente térmica}}{\text{Área habitável climatizada}}$$

A superfície externa da envolvente térmica inclui toda a área exterior da envolvente térmica, ou seja a envolvente isolada e estanque, desde o chão, paredes, tetos ou telhados. A área habitável climatizada é a área do chão das zonas climatizadas medidas pelo interior, excluindo as áreas das divisórias internas, das portas, escadas e espaço não habitável (36).

Como a envolvente térmica é o sítio pelo qual o edifício perde mais calor, quanto maior for maior será as perdas de calor. Assim, quanto mais compacto o edifício for, mais facilmente consegue ser energeticamente eficiente, pois haverá menos área da envolvente exposta ao ar exterior. Caso contrário, quanto maior for, maior será a quantidade de isolamento requerido para garantir a eficiência. O isolamento permite diminuir o fluxo de calor através da envolvente (36).

O intervalo de valores que um fator de forma de perdas de calor geralmente apresenta, encontra-se entre 0,5 e 5, sendo que o quanto mais baixo é o fator mais compacto é o edifício. Para se conseguir atingir um desempenho energético ao nível de uma *Passivhaus*, o fator de forma deve ser inferior a 3, uma vez que acima desse valor fazer cumprir o padrão *Passivhaus* é quase impossível (36).

De notar que a envolvente térmica não corresponde sempre à envolvente externa do edifício, e este facto influencia o fator de forma das perdas de calor. Por exemplo dois edifícios com o mesmo tamanho e geometria mas que a envolvente térmica num está ao nível do teto e no outro ao nível do telhado, o fator de forma do primeiro é menor do que a do segundo edifício. A Figura 7, adaptada de (36), representa diferentes fatores de forma resultantes de edifícios com a mesma área habitável climatizada mas com geometrias diferentes (36).

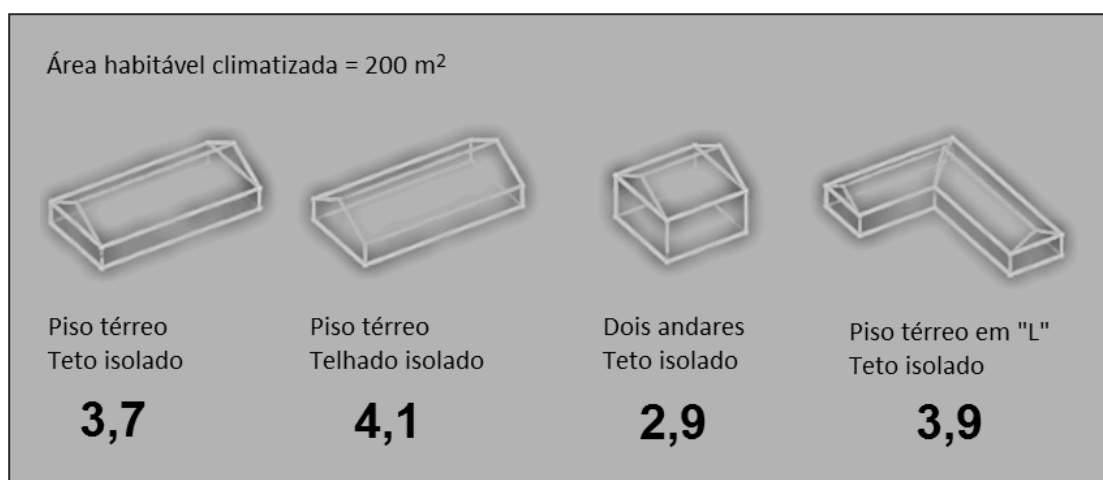


Figura 7 – Relação entre o fator de forma e a geometria do edifício - adaptada de (36)

Foi realizado um estudo da relação entre o fator de forma das perdas de calor e o valor de U requerido para a envolvente térmica de uma *Passivhaus*, que está representada graficamente na Figura 8, adaptada de (36). Ao observar o gráfico nota-se que um fator de forma com valores acima dos 3 tem baixa influência sobre o valor de U. Em contrapartida quando o fator de forma encontra-se abaixo dos 2,5 essa influência tem um efeito exponencial (36).

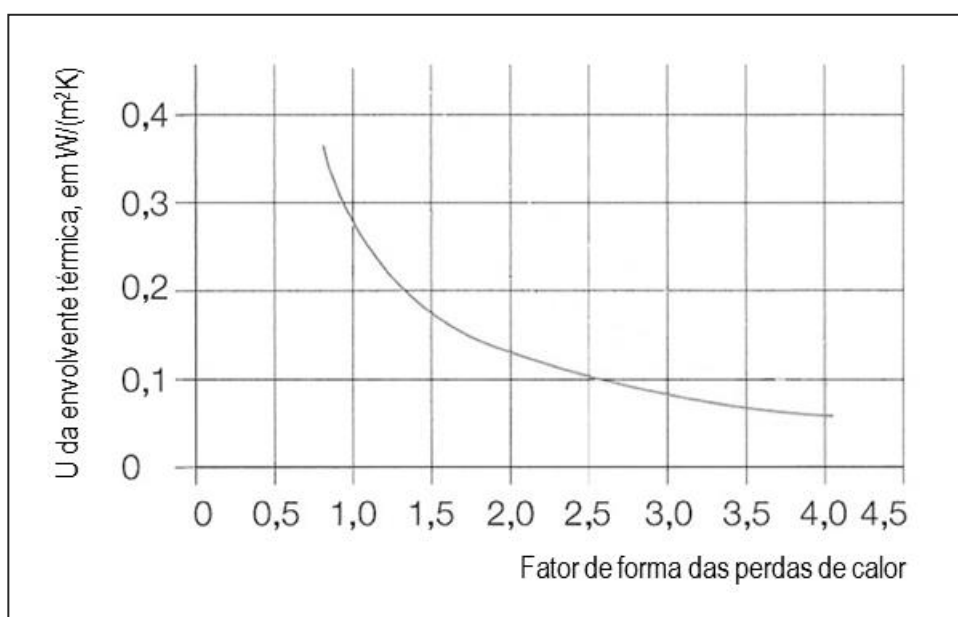


Figura 8 – Representação gráfica da relação entre o fator de forma das perdas de calor e o valor requerido de U para a envolvente térmica de uma *Passivhaus* - adaptada de (36)

Pelo que quanto menor o fator de forma das perdas de calor maior será o valor de U requerido para a envolvente térmica numa relação exponencial, significando um menor nível de isolamento (36).

Se avaliarmos apenas a relação entre a área da envolvente térmica e o seu valor de U, verificamos que essa relação é linear. Por exemplo, quando a área da envolvente térmica duplica o seu valor de U reduz para metade, significando que a espessura do isolamento aumentou para o dobro (36).

Um fator de forma elevado implica maior nível de isolamento e consequentemente mais custos. Mais isolamento corresponde a maior espessura da envolvente, que leva a uma construção mais complexa a nível estrutural e também

mais dispendiosa. Maior complexidade estrutural origina mais pontes térmicas que por sua vez terão de ser corrigidas exigindo ainda mais custos (36).

Inversamente, quanto mais compacta e simples for a estrutura e geometria de um edifício, menor será o nível de isolamento requerido e menores serão os custos de construção, e mais facilmente se conseguirá um melhor desempenho energético (36).

O fator de forma é um parâmetro simples de avaliar e permite aos arquitetos e projetistas entender o efeito que as suas decisões têm em termos de eficiência energética e de custos (36).

2.3.7 Acessibilidade económica de uma *Passivhaus*

Construir uma *Passivhaus* pode implicar custos de construção ligeiramente mais elevados, desde 5 a 10%, do que as construções convencionais (22), contudo o investimento compensará através das poupanças energéticas obtidas durante o ciclo de vida do edifício (9). Devendo-se aos seus ótimos rácios de custo-benefício (5).

Estes custos extra devem-se à aplicação de componentes indispensáveis num edifício mas com melhores desempenho energéticos. Ou seja, uma *Passivhaus* apresenta uma envolvente, janelas e sistema de ventilação mecânica muito eficientes. Este melhoramento da eficiência energética relativamente aos edifícios convencionais permite dispensar sistemas mecânicos complexos usados para o aquecimento de edifícios convencionais, ajudando a financiar os custos do melhoramento do desempenho do edifício. Este melhor desempenho traduz-se em menores custos de operação do edifício ao longo do seu ciclo de vida (20,22).

Num estudo feito a mais de 100 habitações *Passivhaus* (20) distribuídas pela Alemanha, Áustria e Suíça, resultantes do projeto CEPHEUS (*Cost Efficient Passive Houses as European Standards*), determinaram-se soluções construtivas e de equipamentos, e custos associados, monitorizou-se os consumos energéticos e a satisfação dos ocupantes dos edifícios *Passivhaus*. Concluíram que em média o investimento extra foi de 8% relativamente ao custo total do edifício. Também concluíram que as poupanças energéticas permitirão compensar os custos extras da construção e operação destes edifícios *Passivhaus* a partir de 25 anos de operação do edifício, considerando 4% de juro real. Este projeto CEPHEUS, que teve início em

janeiro de 1998 e terminou em dezembro de 2001, teve como objetivo criar as condições para introduzir no mercado edifícios *Passivhaus* com bom custo-benefício. Deste projeto resultaram 221 unidades residenciais construídas em cinco países europeus segundo o padrão *Passivhaus*, desenvolvidas por diferentes arquitetos e projetistas desses países. Estes edifícios residenciais apresentam uma variedade de tipologia, construção e arquitetura de modo a comprovar o bom desempenho energético e a viabilidade económica com baixos custos adicionais da construção de edifícios *Passivhaus* de diversos tipos e em diferentes climas (20).

2.3.8 Conceito *Passivhaus* aplicado a renovações de edifícios

A renovação dos edifícios é importante uma vez que há um grande potencial de melhoramento da eficiência energética dos edifícios existentes (3,11).

O conceito *Passivhaus* pode ser aplicado em renovações de edifício. Contudo existem aspetos construtivos impossíveis de corrigir numa remodelação de um edifício para satisfazer o padrão *Passivhaus*, como por exemplo as pontes térmicas estruturais e orientação do edifício. O padrão *EnerPHit* permite fazer renovações de acordo com os princípios *Passivhaus* mas com as cedências necessárias da sua aplicação a um edifício existente, que por razões de custo-benefício não consegue cumprir os requisitos *Passivhaus*. Com a *EnerPHit* consegue-se melhorar significativamente os níveis de conforto, a longevidade estrutural e eficiência energética do edifício remodelado. Por si só este melhoramento já compensa o investimento e, para além disto, este é recuperado através das poupanças em custos de funcionamento (9).

Para um edifício atingir os critérios *EnerPHit* deve ter necessidades de aquecimento não superiores a 25 kWh por m² de área habitável climatizada por ano ou ser remodelado com componentes *Passivhaus* (9).

2.3.9 Ferramenta de planeamento da *Passivhaus*

Construir uma *Passivhaus* requer um planeamento e execução rigorosos, uma vez que todos os detalhes contam para se fazer cumprir o objetivo de se obter as menores necessidades energéticas possíveis. Por exemplo, o número de ocupantes,

o seu comportamento, o calor gerado pelo sistema de iluminação ou até mesmo pelos aparelhos domésticos são exemplos de parâmetros que contribuem para o aquecimento do edifício (9).

Na fase de planeamento da *Passivhaus* deve-se utilizar a ferramenta de balanço energético *Passive House Planning Package* (PHPP) de modo a cumprir os requisitos *Passivhaus* (9). Esta ferramenta permite explorar e otimizar todo o potencial de poupança de custos (5). Também serve para planear edifícios *EnerPHit* e outros edifícios de elevada eficiência energética (9).

O cálculo do balanço energético ajuda a determinar o nível de isolamento que um dado edifício num determinado tipo de clima necessita (23), entre os outros parâmetros que o edifício precisa de ter para cumprir o padrão *Passivhaus*.

2.3.10 Requisitos *Passivhaus*

Ao longo dos tópicos anteriores acerca da *Passivhaus* foi-se indicando os requisitos que um edifício deve cumprir para satisfazer este padrão. De seguida enumeram-se os requisitos comuns a qualquer edifício *Passivhaus*:

- Necessidades de aquecimento inferiores a 15 kWh/m^2 por ano ou carga máxima de aquecimento de 10 W/m^2 (relativamente à área habitável climatizada) (9);
- Necessidades de arrefecimento praticamente iguais às de aquecimento, com permissão para acrescentar uma fração para desumidificação, dependendo do clima (9);
- Necessidades de energia primária (aquecimento, arrefecimento, AQS e eletricidade) menor que 120 kWh/m^2 por ano (relativamente à área habitável climatizada) (35);
- Estanquidade ao ar – a taxa de renovação de ar deve ser no máximo de 0,6 renovações por hora, a uma diferença de pressão de 50 Pascal entre o interior e exterior do edifício (29);
- Excesso de temperatura (superior a 25°C) não deve ocorrer num determinado ano mais de 10% do tempo (9);

- Construção livre de pontes térmicas: quando o fluxo de calor associado a uma ponte térmica linear é inferior a $0,01 \text{ W/mK}$ (relativamente às dimensões exteriores) (27).

Como o padrão *Passivhaus* foi criado a partir de um projeto realizado na Alemanha, este conceito está melhor estudado para o clima da Europa Central. Estando mesmo já definidos limites numéricos das características da envolvente, que juntamente com os requisitos referidos acima já tinham sido indicados ao longo destes tópicos sobre a *Passivhaus*. De seguida enumeram-se apenas os requisitos específicos para a Europa Central:

- Envolvente exterior opaca com valor de U entre $0,10$ e $0,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (25);
- Envidraçados com vidros triplos baixos emissivos com valor de U não superior a $0,80 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ e fator solar de 50% (9,26).

2.3.11 *Passivhaus* nos climas do sul europeu

O padrão *Passivhaus* trata-se de um conceito fundamental e aplicável a qualquer tipo de clima e edifício. A sua aplicabilidade geral está refletida na própria definição do padrão (consultar tópico 2.3.2) que não contém qualquer valor numérico (23). Este facto permite adaptá-la ao clima local e outras condições locais e à tipologia do edifício a ser construído. As adaptações são feitas variando as propriedades dos componentes individuais de cada edifício mas mantendo a metodologia e requisitos impostos pelo padrão *Passivhaus* (9).

Contudo ainda se fazem estudos para encontrar as melhores soluções para aplicar o padrão *Passivhaus* a climas distintos aos da Europa Central. O artigo de Schnieders *et al.* (22) lançado em 2015 relativo ao estudo de *Passivhaus* em diferentes zonas climáticas é a demonstração que a procura ainda continua. Neste artigo estudou-se e encontraram-se soluções de como o padrão *Passivhaus* pode ser cumprido em climas que não os da Europa Central (22).

O Instituto *Passivhaus* (PHI) também realizou estudos nesta área e propõe algumas dicas de como implementar uma *Passivhaus* em climas mais quentes e climas mais frios do que os da Europa Central. Estas informações podem ser encontradas na plataforma *online* passipedia.org e ainda na revista (9) publicada pela

Associação Internacional *Passivhaus* (IPHA), em 2014. A plataforma *online* *passipedia.org* é uma base de dados de pesquisa acerca da *Passivhaus* onde as informações básicas estão disponíveis ao público em geral e os conteúdos mais específicos e aprofundados apenas para os membros da IPHA.

Como a questão problema desta dissertação se prende com a implementação da EPBD pelos Estados Membros e tendo já sido estabelecidas requisitos específicos para cumprir o padrão *Passivhaus* na Europa Central que tem um clima frio, o foco vai para os climas mais quentes. Pelo que nesta dissertação o estudo está direcionado para a aplicação do padrão *Passivhaus* nos climas do sul europeu.

De seguida descrevem-se os estudos encontrados na literatura acerca da aplicação do padrão *Passivhaus* no sul europeu.

O projeto Passive-On (37), com início em 2005 e término em 2007, teve como objetivo promover a *Passivhaus*, especialmente na Europa do Sul. Para isso trabalhou com parceiros de Portugal, Espanha e Itália, mas também com a França e Reino Unido que representam os climas temperados. Baseado nos requisitos *Passivhaus* para o clima da Europa Central, o projeto tentou perceber se este modelo funcionava para a Europa do Sul ou que alterações necessitavam de ser feitas para conseguir aplicar esse modelo no sul da Europa. Em cada país parceiro foi criada uma casa de custo “aceitável” como caso de estudo, que respeitasse os novos requisitos propostos pelo projeto para o modelo do padrão *Passivhaus* na Europa do Sul (pode ser consultado com detalhe cada caso de estudo no tópico “1.Guia Técnico – Parte 2” do CD Passive-On em (38)). De referir que o caso de estudo foi realizado para uma determinada região, não devendo com isto estar necessariamente adequado a outras regiões do país, visto que existem variações climáticas entre regiões mesmo dentro do mesmo país (38).

O cientista Jürgen Schnieders, em 2009, estudou se seria possível construir edifícios *Passivhaus* em climas mais quentes que o da Europa Central. Para isso ele estudou 12 locais de climas mais quentes localizados na Europa Sudoeste nos seguintes países: Portugal, Espanha, França e Itália. Analisou se nesses locais seria possível manter o nível de conforto desses edifícios pode ser mantido apenas aquecendo, arrefecendo e desumidificando o ar fresco. Também determinou quais seriam as propriedades dos edifícios para cumprir o padrão *Passivhaus* nesses locais (39,40).

Em Badescu *et al.* (41) é estudado o primeiro escritório *Passivhaus* construído na Roménia, na pequena cidade de Bragadiru, com o objetivo de estudar a aplicabilidade e soluções construtivas do padrão *Passivhaus* na Europa Sudoeste. Este artigo foca-se mais nas necessidades de arrefecimento durante a estação mais quente (41).

Em Rotar e Badescu (42) é feito um estudo da aplicação do padrão *Passivhaus* na Europa Sudeste, mais propriamente na Roménia. Este estudo pretendeu determinar se as soluções aplicadas na Europa Central para atingir o padrão *Passivhaus* poderiam ser implementadas com sucesso na Europa Sudeste. O edifício referido no artigo do parágrafo anterior também faz parte deste estudo (42).

Da literatura encontrada, uma conclusão comum é que quando se aplica o padrão *Passivhaus* na Europa do Sul podem-se diminuir os requisitos estabelecidos para cumprir este padrão na Europa Central.

Notou-se que existem mais estudos realizados na Europa Sudoeste que na Sudeste. Concluiu-se que ainda há muito para desenvolver no estudo da aplicabilidade do padrão *Passivhaus* na Europa Sudeste. Os estudos encontrados foram realizados apenas na Roménia. Verificou-se que na Europa Sudeste há a tendência de aplicar o padrão *Passivhaus* com os requisitos para o clima da Europa Central, não sendo a forma mais eficiente pois para climas diferentes é necessário fazer adaptações.

O projeto Passive-On e o estudo realizado por Schnieders incidem sensivelmente sobre as mesmas regiões, representando a Europa Sudoeste. O estudo de Schnieders apresenta soluções construtivas mais gerais que o projeto Passive-On uma vez que este reproduziu apenas um caso de estudo em cada local. Concluiu-se que o estudo de Schnieders dá uma noção melhor de como construir um edifício na Europa do Sul do que o projeto Passive-On que apresenta um caso prático mais específico.

2.4 Síntese

O conceito de ZEB parece uma solução ótima para aplicar ao setor dos edifícios com o intuito de promover o desempenho energético e diminuir as emissões de GEE. Porém, carece de uma definição clara e de uma metodologia de cálculo única a nível internacional. Existem determinados países que tentam adotar métodos próprios para aplicar este conceito ao setor dos edifícios. Um dos casos foi a Comissão Europeia que lançou a EPBD para promover um conceito que é quase um ZEB, os nZEB. Contudo a definição de nZEB apresentada pela EPBD é ampla e transfere para os Estados Membros a responsabilidade de transpor essa definição às suas condições nacionais, sendo que cada um tem de realizar a sua própria definição de nZEB a aplicar no seu país. Com o decorrer da EPBD nota-se que os Estados Membros estão a trabalhar com diferentes níveis de ambição na implementação dos requisitos para promover o número de nZEB. Seria importante encontrar um caminho comum e que a Comissão Europeia fosse mais clara no que pretende por forma a cumprir-se com mais rigor os objetivos da EPBD.

O padrão *Passivhaus* surge como base ideal para os nZEB, pois permite edifícios muito eficientes, com elevados níveis de conforto, acessíveis economicamente, e é um conceito compatível com as energias renováveis. Para além disso, este conceito é aplicável a qualquer tipo de edifício e em qualquer tipo de clima. Sabe-se que este padrão resultou de um projeto de pesquisa realizado na Alemanha e foi aí que nasceu a primeira *Passivhaus*. Assim o conceito encontra-se melhor estudado para os países da Europa Central. Apesar de haver diversos casos de sucesso da implementação do padrão *Passivhaus* a nível mundial, continua-se a procurar quais as melhores soluções construtivas para adotar este padrão a climas distintos daqueles da Europa Central.

Como a EPBD se destina a todos os Estados Membros e sendo que a Europa Central tem um clima frio, a maior preocupação são os climas mais quentes. Assim, o foco de estudo desta dissertação é a adequação do padrão *Passivhaus* aos climas do sul europeu.

3 Caso de estudo

3.1 Contributo da dissertação

Pretende-se com esta dissertação determinar quais os requisitos que um edifício deve ter no sul da Europa para cumprir o padrão *Passivhaus*. Fazer a comparação entre os requisitos encontrados e os aplicados na Europa Central. Fazer a comparação dos requisitos encontrados entre as próprias cidades sul europeias.

3.2 Metodologia

3.2.1 Descrição geral

De modo a obter o pretendido com a realização desta dissertação optou-se por recorrer à simulação dinâmica de edifícios. Com o auxílio desta ferramenta estudou-se o comportamento de um edifício modelo em diferentes cidades do sul europeu por modo a determinar quais as soluções construtivas e outras características que esse edifício deve ter para satisfazer o padrão *Passivhaus* nesses locais. O edifício modelo criado é de geometria simples e trata-se de um edifício residencial dimensionado para uma família de três pessoas, um casal e uma criança.

Começou-se por estudar o edifício modelado numa cidade alemã para servir como termo de comparação entre o sul da Europa e a Europa Central. Também foi importante para moldar o edifício ao padrão *Passivhaus* antes de o estudar no clima do sul europeu.

Neste estudo, relativamente à estrutura do edifício, atendeu-se apenas ao valor de U e não ao tipo de materiais que a constituem. Esta propriedade física influencia o nível de isolamento do edifício e consequentemente as necessidades de aquecimento e arrefecimento do mesmo. Existem diversas combinações de materiais que permitem obter o mesmo valor de U. Assim, recorrendo a simulações com diversos valores de U, obteve-se aqueles que melhor cumprem o padrão *Passivhaus* numa determinada cidade. Depois, sabendo o valor de U e considerando os materiais

disponíveis localmente e o estilo de construção é possível encontrar o conjunto de materiais capazes de cumprir essas condições.

3.2.2 Simulação dinâmica de edifícios

A simulação de edifícios permite aos engenheiros, arquitetos e projetistas modelar e estudar o comportamento de um edifício possibilitando a tomada de medidas para reduzir os consumos energéticos dos mesmos (43).

O desempenho energético de um edifício é influenciado pelo seu funcionamento como um todo, desde a sua estrutura física, seus sistemas e equipamentos à sua interação com o ambiente e com os seus ocupantes (43).

A simulação dinâmica permite modelar as interações dinâmicas de um edifício avaliando-as pelo menos numa base temporal horária.

O *DesignBuilder* é um programa que serve de interface ao *software EnergyPlus* que é uma ferramenta de simulação dinâmica de edifícios. O *DesignBuilder* veio facilitar a utilização daquele programa de simulação energética de grande capacidade e precisão (44).

As características principais do *EnergyPlus* são as seguintes (44):

- Faz simulação térmica avançada numa base de tempo que pode ir até à sub-horária;
- Determina dados como consumos energéticos, emissões de carbono, conforto térmico numa base de tempo anual, mensal, diária, horária e sub-horária;
- Reporta ganhos solares nas superfícies, temperaturas das superfícies e trocas de temperaturas radiantes;
- Disponibiliza uma elevada gama de resultados para edifícios e sistemas;
- Avalia o desempenho passivo, massa térmica e distribuição de temperatura;
- Exporta as temperaturas da superfície e taxas de fluxo de ar como condições limite para análise computacional da dinâmica de fluidos detalhada;
- Dimensiona sistemas de aquecimento e de arrefecimento.

Neste estudo recorreu-se ao *software DesignBuilder* para simular o edifício modelado de modo a obter os requisitos que deve ter para melhor cumprir o padrão *Passivhaus* em diferentes localizações do sul da Europa. Para tal foram estudados diversos parâmetros que serão descritos no tópico 3.3.2.

Utilizou-se o *DesignBuilder* na versão 4.7.0.027 que serviu de interface ao *EnergyPlus* 8.3.

3.3 Modelação do edifício

3.3.1 Tipologia do edifício

O edifício modelado é do tipo residencial e foi dimensionado para uma família de três pessoas, um casal e uma criança. Apresenta um piso térreo de forma retangular e cobertura plana. A sua área habitável é de 90 m^2 , o que equivale a 30 m^2 de área habitável por cada pessoa. Uma altura de pé direito de 2,5 m o que se traduz num volume interno de 225 m^3 .

Os seus 90 m^2 de área habitável encontram-se divididos em dois quartos de cama, um quarto de banho e uma área aberta que engloba a cozinha, zona de refeição e sala.

Os envidraçados encontra-se apenas nas fachadas orientadas a norte e a sul, sendo que a norte a área de envidraçados é de $6,2 \text{ m}^2$ e a sul de $9,3 \text{ m}^2$.

A Figura 9 trata-se de um esboço da planta da habitação uma vez que não foi desenhada à escala.

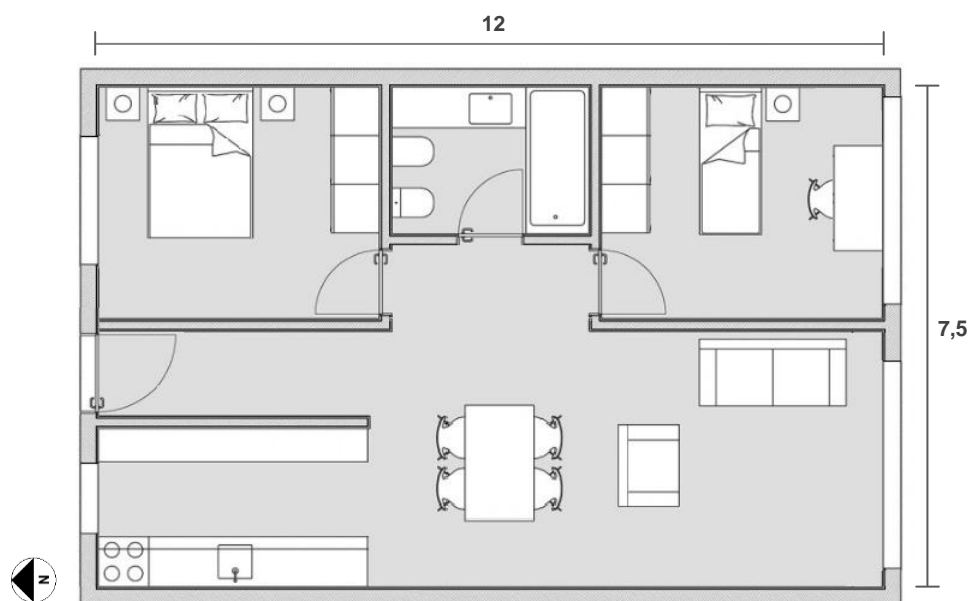


Figura 9 – Planta do edifício (não se encontra à escala)

3.3.2 Características da simulação

Neste tópico é descrita a forma como se introduziram os dados no programa *DesignBuilder* deste caso de estudo, as considerações feitas e os parâmetros estudados.

Um dos propósitos das simulações realizadas foi estudar diferentes valores de U associados à envolvente externa do edifício. Sabendo que este valor influencia a espessura da envolvente, no desenho do edifício no *DesignBuilder* utilizou-se apenas as medidas internas pois estas mantêm-se constantes. Assim no *Designbuilder* na convenção da geometria utilizou-se o modo simples e as medidas internas, tal como está exibido na Figura 10. De notar que neste modo o programa não representa visualmente a espessura dos elementos que constituem a estrutura do edifício, contudo este parâmetro é contabilizado nos cálculos energéticos.

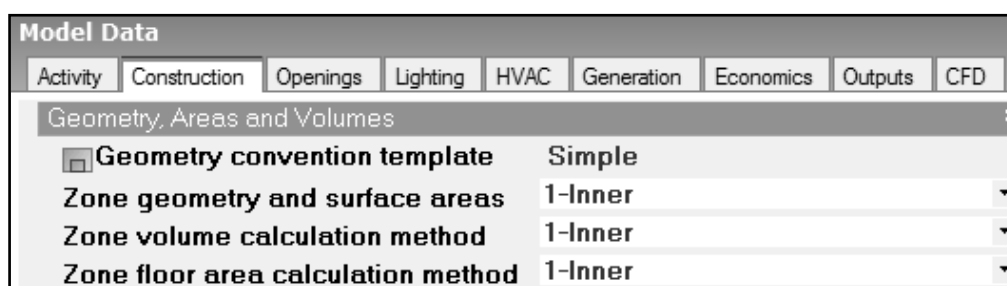


Figura 10 – Convenção da geometria do edifício modelado no *DesignBuilder*

Sendo que todos os compartimentos da habitação se destinam a ser climatizados, simplificou-se o modelo e considerou-se como sendo uma só zona. Para tal, ao desenhar o interior do edifício no *DesignBuilder*, foram excluídas as portas internas. Contudo mantiveram-se as paredes internas para representar a inércia térmica das mesmas. A Figura 11 mostra o aspeto final da planta da habitação visualizada no *DesignBuilder*.

Relativamente à disposição dos envidraçados, no tópico anterior foi referido a área e a sua orientação, sendo que a Figura 12 ilustra as fachadas do edifício modelado no *DesignBuilder*. De referir que a porta exterior foi desenhada como sendo um envidraçado pois o aspeto dela foi pensado como tal.

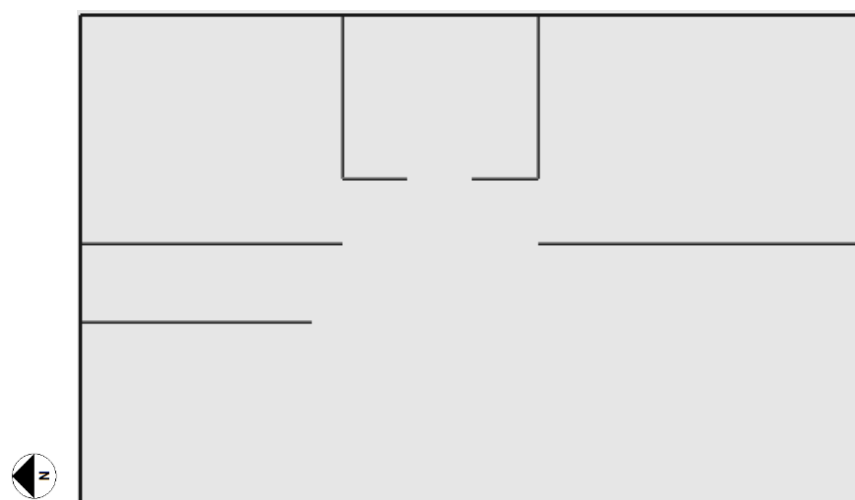


Figura 11 – Planta do edifício visualizada no *DesignBuilder*

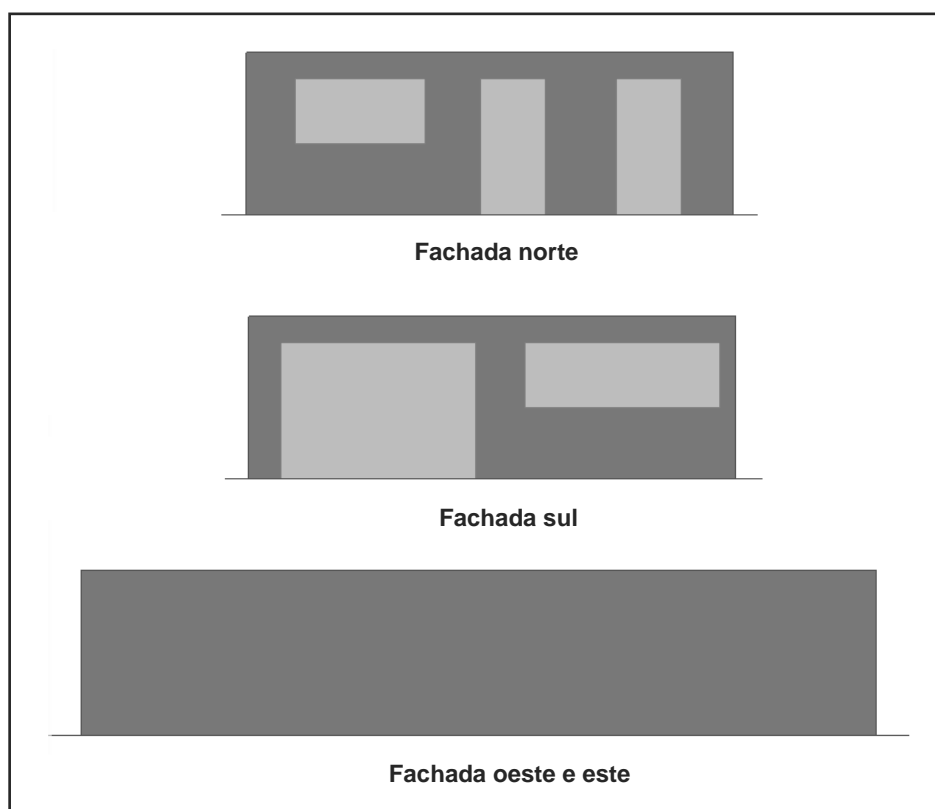


Figura 12 – Alçadas do edifício visualizadas no *DesignBuilder*

Nas opções gerais do *DesignBuilder* foram feitas alterações àquelas que estão selecionadas por defeito. As unidades dos ganhos internos provocados pela iluminação foram alteradas para serem apresentadas em W/m^2 . O AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado) foi simulado no modo compacto. A ventilação natural e as infiltrações são calculadas segundo a definição da estanquidade da estrutura do edifício e das condições climáticas de cada local. As unidades de infiltração são dadas em renovações de ar por hora sob um diferencial de pressão de 50 Pa, uma vez que o padrão *Passivhaus* refere que a taxa de renovação de ar deve ser no máximo de 0,6 renovações por hora, a uma diferença de pressão de 50 Pa entre o interior e exterior do edifício. O nível de estanquidade é medido por uma escala entre o “péssimo” e o “excelente”. A Figura 13 representa as opções do modelo selecionadas no *DesignBuilder*.

Model Options Data

Cost/Carbon

Data | Advanced | Heating Design | Cooling Design | Simulation | Display | Drawing tools | Block | Project details

Data Options

Model options template: Draw building + standard data

Construction and Glazing Data

Construction and glazing data: Pre-design | General

General construction templates: Construction default data is selected from a list.

Floor/slab/ceiling representation: 1-Combined

Gains Data

Gains data: Lumped | Early | Detailed

Early gains: Internal gains are separated into various categories (e.g. occupancy, lighting, computing etc.)

Occupancy latent gains: 1-Dynamic calculation

Lighting gain units: 1-Watts per m2

Timing

Timing: Typical workday | Schedules

Schedules: Timing is defined using the schedules and profiles mechanism which allows each day of the week to have a different profile.

☐ Internal gains operate with occupancy

HVAC

HVAC: Simple | Compact | Detailed

Compact HVAC: HVAC systems are defined parametrically and modelled within EnergyPlus using Compact HVAC descriptions

HVAC sizing: 3-Autosize

Natural Ventilation and Infiltration

Natural ventilation: Scheduled | Calculated

Calculated ventilation: Natural ventilation and infiltration air flow rates are calculated based on opening and crack sizes, buoyancy and wind pressures.

Infiltration units: 4-n50 (ac/h at 50 Pa)

Airtightness method: 1-Template slider

Figura 13 – Opções do modelo gerais selecionadas no *DesignBuilder*

Em todas as localizações estudadas o valor de estanquidade foi tomado como sendo 0,3 renovações de ar por hora a uma diferença de pressão de 50 Pa e o nível de estanquidade foi selecionado como “excelente”, como demonstra a Figura 14.

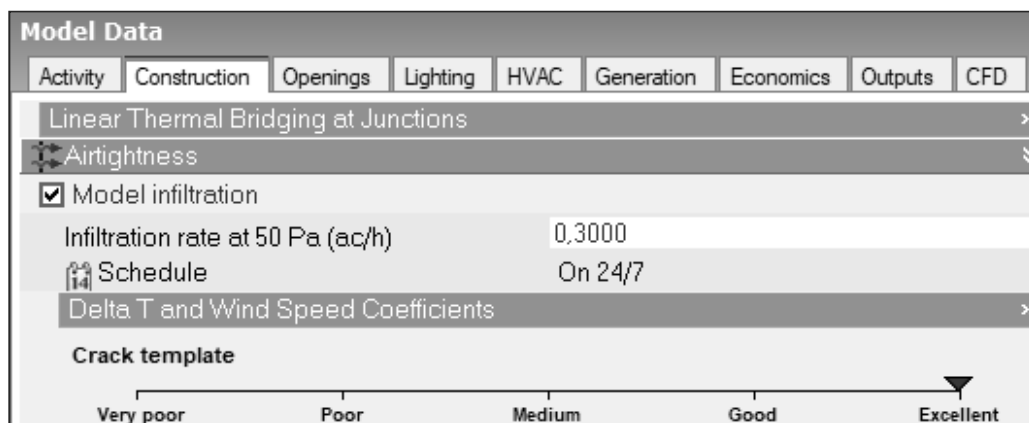


Figura 14 – Valor e nível de estanquidade do edifício modelado no *DesignBuilder*

No separador de atividade do *DesignBuilder* é onde se define a ocupação do edifício, o consumo de AQS, a temperatura máxima e mínima a ter no interior do edifício, o mínimo de ar fresco fornecido e os ganhos internos provocados pelos equipamentos. De seguida explica-se a inserção destes dados e na Figura 16 encontra-se o visualizado no *DesignBuilder*.

Como já foi mencionado, o edifício foi projetado para acomodar 3 pessoas em 90 m² de área habitável. Resultando numa densidade de ocupação de 0,0333 pessoas por m². Utilizou-se como horário de ocupação um existente na base de dados do *DesignBuilder* que tem por nome “*Test Residential Occ*” e se encontra na pasta “*ASHRAE 90.1-2007*”, ver Figura 15. No metabolismo selecionou-se a opção “*Bedroom*” que indica que cada ocupante debita 104 W.

No consumo de AQS o valor tomado foi de 1,378 l/m² por dia, este valor advém de um estudo cuja conclusão se encontra no artigo (45). Essa conclusão refere que cada pessoa consome 28 l por dia e acrescenta-se mais 40 l por habitação. Assim, neste edifício modelado para habitarem três pessoas o consumo de AQS é de 124 l por dia.

O mínimo de temperatura a ter no interior da habitação é de 20°C e o máximo de 25°C. Quando existe ventilação natural foi estipulado um controlo da temperatura mínima no interior do edifício de 23°C.

Schedules Data	
General	
General	
Name	Test Residential Occ
Description	based on TOWARDS BETTER MODELING OF RESIDENTIAL THERMOSTATS
Source	b.i.g. bechtold
Category	ASHRAE 90.1-2007
Region	General
Schedule type	2-Compact Schedule
Profiles	
Schedule: Compact	
Occ_Residential,	
Fraction,	
Through: 31 Dec,	
For: Weekdays,	
Until: 05:00,	1.00,
Until: 06:00,	0.80,
Until: 08:00,	0.75,
Until: 09:00,	0.50,
Until: 15:00,	0.43,
Until: 18:00,	0.50,
Until: 21:00,	0.75,
Until: 24:00,	0.80,
For: Saturday,	
Until: 07:00,	1.00,
Until: 08:00,	0.80,
Until: 09:00,	0.75,
Until: 10:00,	0.50,
Until: 15:00,	0.43,
Until: 18:00,	0.50,
Until: 21:00,	0.75,
Until: 24:00,	0.80,
For: Sunday Holidays,	
Until: 07:00,	1.00,
Until: 08:00,	0.80,
Until: 09:00,	0.75,

Figura 15 – Horário de ocupação “*Test Residential Occ*” da base de dados do *DesignBuilder*

Segundo os critérios de conforto *Passivhaus* para garantir a qualidade do ar interior, tal como já foi referido, é necessário fornecer por pessoa 30 m^3 por hora de ar fresco. Assim o mínimo de ar fresco definido foi de $8,333 \text{ l/s}$ por pessoa, equivalendo a $0,278 \text{ l/s por m}^2$.

Para simular os ganhos internos provocados pela utilização de equipamentos elétricos foi selecionado o “*Miscellaneous*” no separador de atividade do *Designbuilder* e introduzido um valor de $0,5 \text{ W/m}^2$.

Model Data								
Activity	Construction	Openings	Lighting	HVAC	Generation	Economics	Outputs	CFD
Activity Template	>>							
Floor Areas and Volumes	>>							
Occupancy	v							
Density (people/m2)	0,0333							
Schedule	Test Residential Occ							
Metabolic	v							
Activity	Bedroom							
Factor (Men=1.00, Women=0.85, Children=...	0.90							
CO2 generation rate (m3/s-W)	0,0000000382							
Clothing	>>							
Generic Contaminant Generation	>>							
Holidays	>>							
DHW	v							
Consumption rate (l/m2-day)	1.378							
Environmental Control	v							
Heating Setpoint Temperatures	v							
Heating (°C)	20,0							
Heating set back (°C)	19,0							
Cooling Setpoint Temperatures	v							
Cooling (°C)	25,0							
Cooling set back (°C)	26,0							
Humidity Control	>>							
Ventilation Setpoint Temperatures	v							
Natural Ventilation	v							
<input checked="" type="checkbox"/> Indoor min temperature control								
Min temperature definition	1-By value v							
Min temperature (°C)	23,0							
<input type="checkbox"/> Indoor max temperature control								
Minimum Fresh Air	v							
Fresh air (l/s-person)	8,333							
Mech vent per area (l/s-m2)	0,278							
Lighting	>>							
Computers	>>							
Office Equipment	>>							
Miscellaneous	v							
<input checked="" type="checkbox"/> On								
Gain (W/m2)	0,50							
Schedule	On 24/7							
Fuel	1-Electricity from grid v							
Fraction lost	0,000							
Latent fraction	0,000							
Radiant fraction	0,200							

Figura 16 – Inserção dos dados no separador de atividade do *DesignBuilder*

Relativamente à utilização da iluminação optou-se pelas lâmpadas LED com uma densidade de potência de 1 W/m^2 e definiu-se um horário de funcionamento através da base de dados do *Designbuilder*, escolhendo o “*Test Residential Light*” que se encontra na pasta “*ASHRAE 90.1-2007*”, ver Figura 17 e Figura 18.

The screenshot shows the 'Schedules Data' window with the 'General' tab selected. The 'Name' field is 'Test Residential Light'. The 'Description' is 'together with multifamily lighting uses daylighting stepped control to mimic occupant usage'. The 'Source' is 'b.i.g. bechtold'. The 'Category' is 'ASHRAE 90.1-2007'. The 'Region' is 'General'. The 'Schedule type' is '2-Compact Schedule'. The 'Profiles' section lists the following schedule data:

Profile	Until	Fraction
Schedule: Compact		
Occ_Residential		
Fraction		
Through: 31 Dec		
For: Weekdays		
Until: 06:00	0.00	
Until: 22:00	1.00	
Until: 23:00	0.80	
Until: 24:00	0.20	
For: Saturday		
Until: 07:00	0.00	
Until: 22:00	1.00	
Until: 23:00	0.80	
Until: 24:00	0.20	
For: Sunday Holidays		
Until: 07:00	0.00	
Until: 22:00	1.00	
Until: 23:00	0.80	
Until: 24:00	0.20	
For: SummerDesignDay		
Until: 24:00	1	
For: AllOtherDays		
Until: 24:00	0	

Figura 17 – Horário funcionamento da iluminação “*Test Residential Light*” da base de dados do *DesignBuilder*

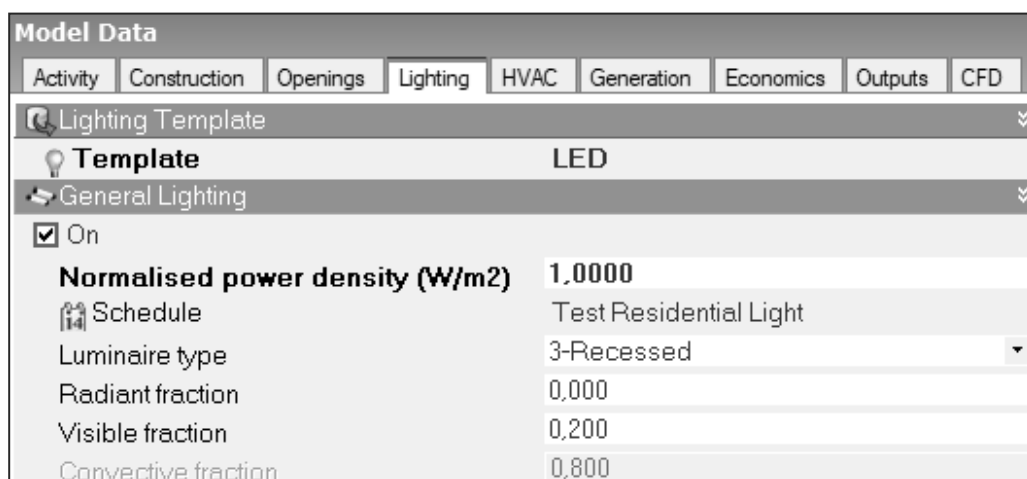


Figura 18 – Opção de iluminação no edifício modelado no *DesignBuilder*

As escolhas tomadas para definir a ocupação, a iluminação e os equipamentos foram realizadas de forma a se assemelharem aos ganhos de calor internos determinados no exemplo apresentado no artigo (46). Os ganhos de calor internos resultam do somatório dos ganhos provocados pelos ocupantes, iluminação e equipamentos.

No separador AVAC do *DesignBuilder* é onde se define o sistema AVAC, a existência de ventilação natural e o funcionamento do sistema AQS.

Começando pela AQS, utilizou-se as definições pré-definidas pelo programa, tendo sido alteradas apenas a temperatura de fornecimento da água quente de 65°C para 60°C e no horário de funcionamento colocou-se o mesmo que o da ocupação, o “*Test Residential Occ*”, tal como está exibido na Figura 19.

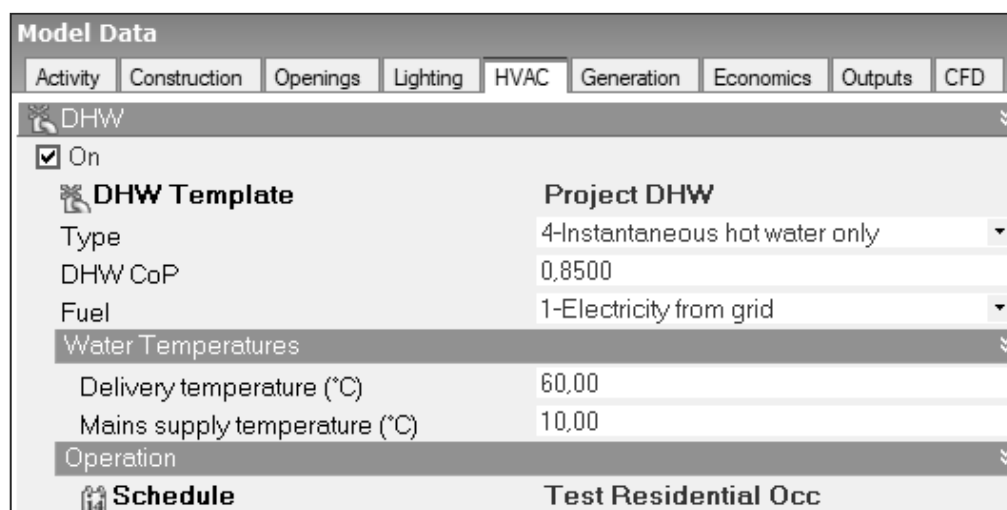


Figura 19 – Funcionamento do sistema AQS do edifício modelado no *DesignBuilder*

O conceito principal de uma *Passivhaus* é conseguir climatizar um edifício recorrendo somente ao ar fresco necessário para manter a qualidade de ar interior, sem haver recirculação de ar (ver tópico 2.3.2), assim sendo, na definição do sistema AVAC no *DesignBuilder* procurou-se encontrar um sistema de ventilação que satisfizesse este propósito.

O sistema de ventilação mecânica adotado foi uma unidade de tratamento de ar de volume constante com recuperação de calor. Para isto recorreu-se aos sistemas AVAC pré-definidos existentes no *DesignBuilder* e selecionou-se o “*Low standard*” do qual se manteve os dados dos ventiladores e alterou-se os outros parâmetros. Definiu-se que o sistema de ventilação deve garantir o mínimo de ar fresco por área, que não há recirculação de ar e que a recuperação de calor tem uma eficiência de 80%, consultar Figura 20. Os horários de funcionamento assinalados na figura podem sofrer alterações nas diferentes localizações estudadas.

The screenshot shows the 'Model Data' window with the 'HVAC' tab selected. The settings are as follows:

Category	Setting
HVAC Template	Low standard
Type	5-CAV
System Availability	
Schedule	On 24/7
Night cycle control	1-Stay off
Mechanical Ventilation	
On	<input checked="" type="checkbox"/>
Outside air definition method	3-Min fresh air (Per area)
Min AHU Outside Air Requirement	
Schedule	On 24/7
Outside Air Mixing	
Outside air mixing	2-Full fresh air
Fans	
Pressure rise (Pa)	1750
Total efficiency (%)	70
Fan in air (%)	100
Supply fan placement	1-Draw through
Part-load power coefficients	1-Inlet vane dampers
Heat Recovery	
On	<input checked="" type="checkbox"/>
Heat recovery type	1-Sensible
Sensible heat recovery effecti...	0,800
Heating setpoint temperature ...	30,00
Operation schedule	On 24/7

Figura 20 – Ventilação mecânica do edifício modelado no *DesignBuilder*

Quando é necessário recorrer ao aquecimento para além do recuperador de calor, definiu-se a utilização de radiadores ao nível da zona do edifício, cuja Figura 21 traduz as opções seleccionadas no *DesignBuilder*. O horário de funcionamento assinalado na figura pode sofrer alterações nas diferentes cidades estudadas.

The screenshot shows the 'Model Data' window in DesignBuilder, with the 'HVAC' tab selected. The 'Heating' section is expanded, showing the following settings:

- Heating:** ☒ Heated
- Boiler:** Gas-fired condensing boiler
- Outside Air Preheat:** (dropdown menu)
- Coil type:** 1-None
- AHU Heating:** (dropdown menu)
- Coil type:** 1-None
- Reheat:** (dropdown menu)
- Coil type:** 3-Hot water
- Zone damper heating action:** 2-Reverse
- Local Heating Units:** (dropdown menu)
- Zone Setpoint Schedule:** (dropdown menu)
- Schedule:** Winter (Northern Hemisphere)

Figura 21 – Funcionamento do sistema de aquecimento do edifício modelado no *DesignBuilder*

Quando existiu a necessidade de arrefecer o edifício, promoveu-se a utilização da ventilação natural noturna e de sombreamento que em todas as localizações estudadas foi o suficiente para trazer a temperatura ao nível de conforto. Garantindo que o sobreaquecimento, temperatura acima dos 25°C, acontecia apenas em menos de 10% do tempo tal como o padrão *Passivhaus* o exige.

A ventilação natural quando é utilizada funciona sob as condições existentes por defeito no *DesignBuilder*, ver Figura 22, e é limitada pelo controlo da temperatura mínima no interior do edifício de 23°C, definido no separador de atividade do *DesignBuilder*. O horário de funcionamento da ventilação natural criado está apresentado na Figura 23. A percentagem de abertura dos envidraçados utilizada é de 5% ou de 10% e opera no mesmo horário que a ventilação natural, estes parâmetros são definidos no separador de aberturas do *DesignBuilder*.

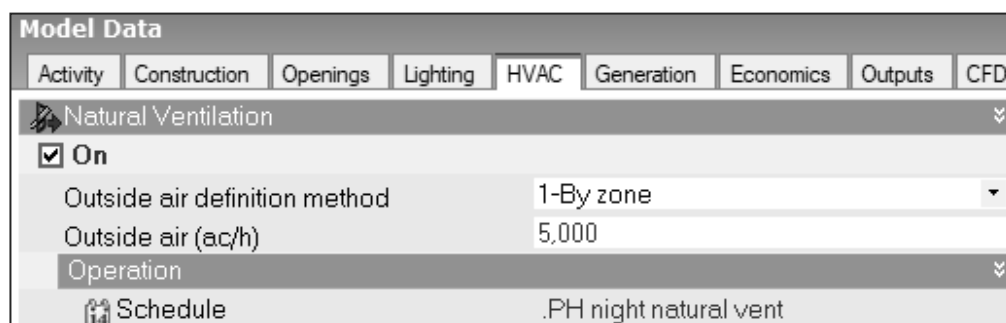


Figura 22 – Funcionamento da ventilação natural do edifício modelado no *DesignBuilder*

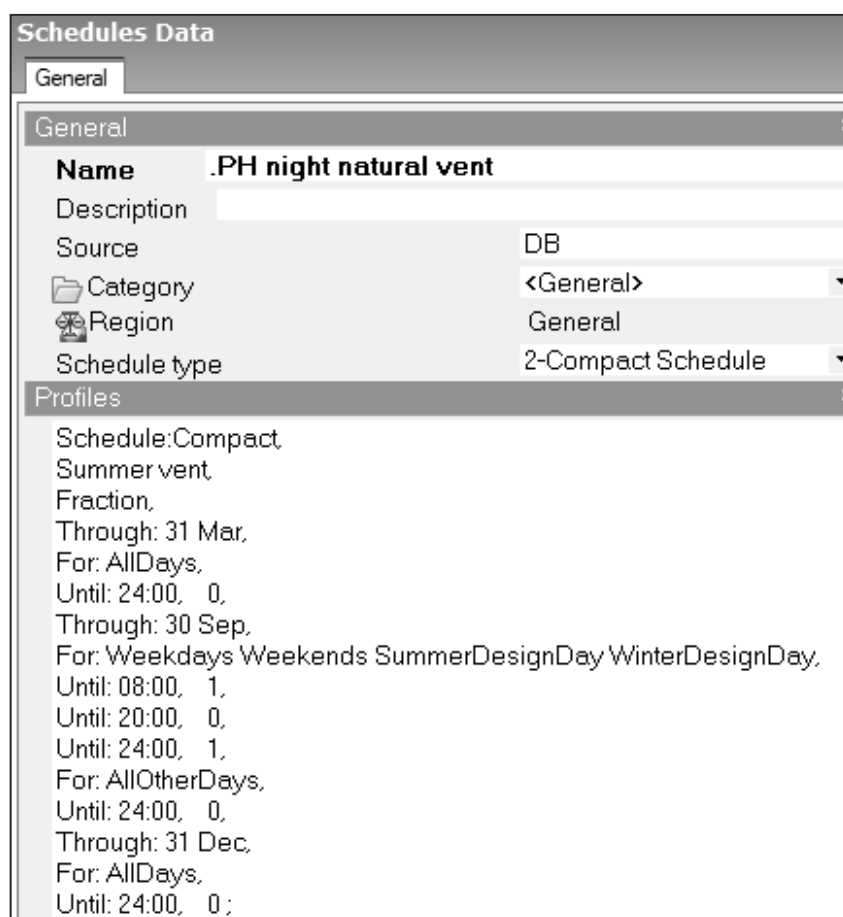


Figura 23 – Horário de funcionamento da ventilação natural criado para o edifício modelado no *DesignBuilder*

Em todas as localizações estudadas é utilizado como sombreamento permanente uma pala sobre os envidraçados com 1 m de comprimento. Nas localizações com maiores necessidades de arrefecimento são utilizadas estores exteriores de média refletividade quando o ar do interior do edifício atinge uma temperatura de 24°C. Consultar Figura 24.

Model Data								
Activity	Construction	Openings	Lighting	HVAC	Generation	Economics	Outputs	CFD
Shading								
<input checked="" type="checkbox"/> Window shading								
Type	Blind with medium reflectivity slats							
Position	3-Outside							
Control type	7-Inside air temp							
Inside air temperature setpoint (°C)	24,00							
Operation								
Operation schedule	Test Residential Occ							
<input checked="" type="checkbox"/> Local shading								
Type	1.0m Overhang							

Figura 24 – Utilização do sombreamento no edifício modelado no *DesignBuilder*

Ainda nos envidraçados para se estudar o seu valor de U no *DesignBuilder* definiu-se os vidros no modo simples, em que o utilizador introduz o valor de U, fator solar e transmissão de luz visível. Ver exemplo na Figura 25.

Glazing Data	
Layers	Cost
General	
Name	Vidros
Description	
Source	EnergyPlus dataset
Category	<System>
Region	General
Definition method	
Definition method	2-Simple
Simple Definition	
Total solar transmission (SHGC)	0,500
Light transmission	0,700
U-Value (ISO 15099 / NFRC) (W/m2-K)	0,800

Figura 25 – Exemplo de atribuição do valor de U dos vidros do edifício modelado no *DesignBuilder*

Para simular a caixilharia atribuiu-se o mesmo valor de U que nos vidros e definiu-se três camadas compostas por PVC no exterior e interior, e a camada intermédia é um material isolante. Dependendo do valor de U atribuído o programa calcula a espessura que o isolante deve ter. Consultar o exemplo da Figura 26.

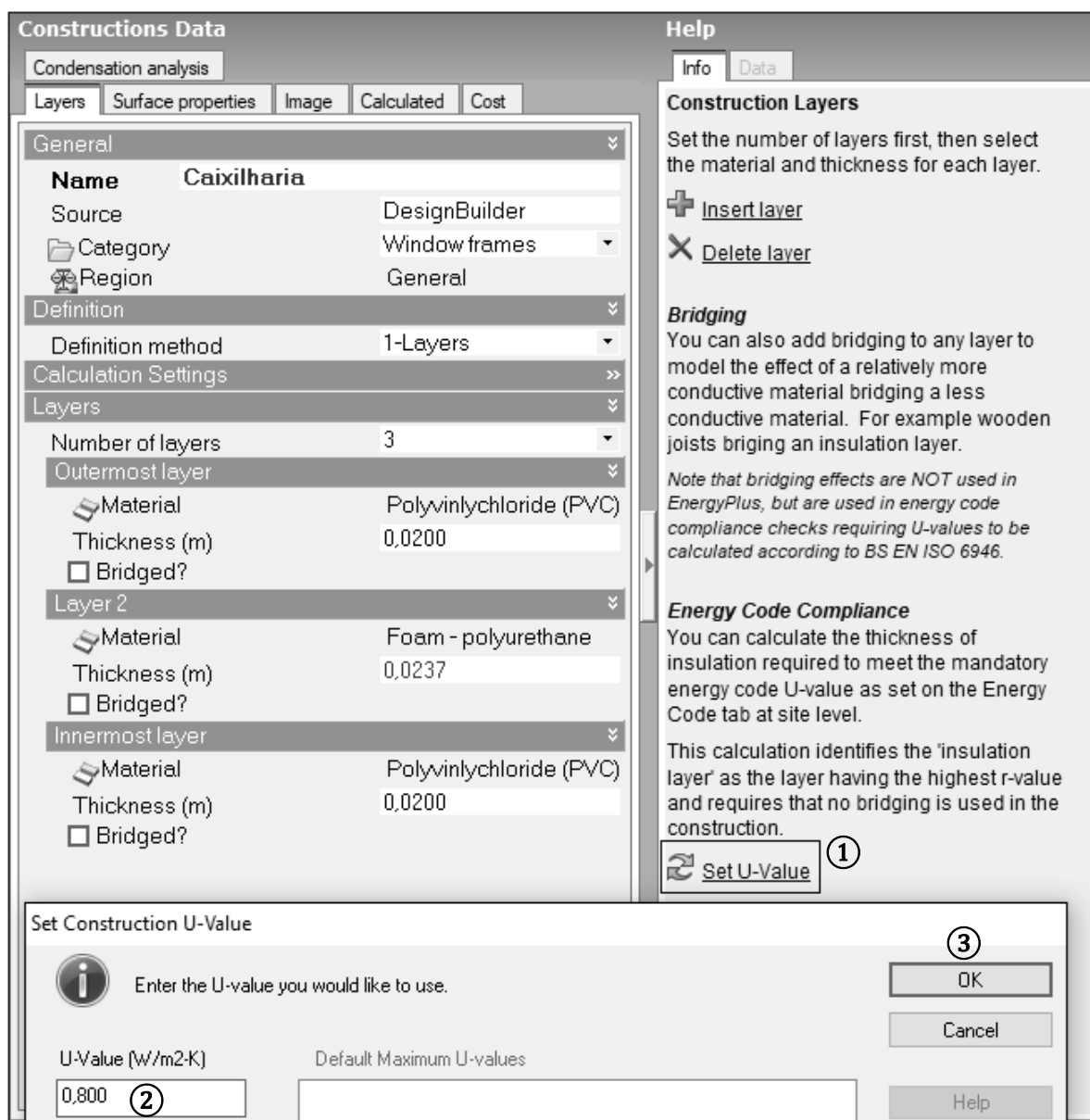


Figura 26 – Exemplo de atribuição do valor de U da caixilharia do edifício modelado no *DesignBuilder*

Para estudar o valor de U da envolvente exterior opaca do edifício escolheu-se um modelo construtivo da base de dados do *DesignBuilder* designado por “*Project construction template*” e atribuiu-se um valor de U à parede exterior, laje térrea e cobertura. Sendo que depois o programa adapta a espessura do componente isolante existente na estrutura da envolvente para conseguir esse valor. Ver exemplo da Figura 27.

Constructions Data

Condensation analysis

Layers Surface properties Image Calculated Cost

General

Name WALL U=0,10

Source

Category Walls

Region GERMANY

Definition

Definition method 1-Layers

Calculation Settings

Layers

Number of layers 4

Outermost layer

Material Brickwork, Outer Leaf

Thickness (m) 0,1000

☐ Bridged?

Layer 2

Material XPS Extruded Polystyren

Thickness (m) 0,0795

☐ Bridged?

Layer 3

Material Concrete Block (Medium)

Thickness (m) 0,1000

☐ Bridged?

Innermost layer

Material Gypsum Plastering

Thickness (m) 0,0130

☐ Bridged?

Help

Info Data

Construction Layers

Set the number of layers first, then select the material and thickness for each layer.

[+ Insert layer](#)

[X Delete layer](#)

Bridging

You can also add bridging to any layer to model the effect of a relatively more conductive material bridging a less conductive material. For example wooden joists bring an insulation layer.

Note that bridging effects are NOT used in EnergyPlus, but are used in energy code compliance checks requiring U-values to be calculated according to BS EN ISO 6946.

Energy Code Compliance

You can calculate the thickness of insulation required to meet the mandatory energy code U-value as set on the Energy Code tab at site level.

This calculation identifies the 'insulation layer' as the layer having the highest r-value and requires that no bridging is used in the construction.

[Set U-Value](#) ①

Set Construction U-Value

③

Enter the U-value you would like to use.

U-Value (W/m2-K) 0,100 ②

Default Maximum U-values - Germany

Outside - Wall = 0,350 W/m2-K

Semi-exposed - Wall = 0,350 W/m2-K

[Use selected default](#)

[OK](#)

[Cancel](#)

[Help](#)

DesignBuilder

Confirm update the insulation layer 2 from

0,0795m of XPS Extruded Polystyrene - CO2 Blowing to

0,3224m of XPS Extruded Polystyrene - CO2 Blowing

④

[OK](#)

[Cancel](#)

Figura 27 – Exemplo de atribuição do valor de U à parede exterior do edifício modelado no *DesignBuilder*

Ao realizar as simulações nas diferentes localizações, definiu-se os valores de U da envolvente exterior de modo a que a carga máxima de aquecimento fosse cerca de 10 W por m² da área habitável climatizada.

Importa ainda referir que as simulações foram efetuadas segundo a temperatura operativa.

3.4 Edifício modelado em Frankfurt

Antes de começar a estudar o edifício nas cidades do sul da Europa simulou-se o edifício modelado na cidade de Frankfurt, da Alemanha. Os dados retirados desta análise serviram como termo comparativo do estudo realizado às cidades sul europeias. Permitiu de certa forma validar o modelo do edifício estudado ao padrão *Passivhaus*, uma vez que foi na Europa Central que surgiu o conceito e onde existe maior especificação dos requisitos que um edifício deve ter para cumprir este padrão.

Sabe-se que para se cumprir os requisitos de conforto e das necessidades de aquecimento e arrefecimento do padrão *Passivhaus* num edifício localizado na Europa Central, a envolvente opaca do edifício deve ter um valor de U compreendido entre os 0,10 e 0,15 W/(m²K). Também os envidraçados devem conter vidros triplos baixos emissivos com valor de U não superior a 0,80 W/(m²K) e fator solar de 50%, ver tópico 2.3.10.

Tem-se ainda que a carga máxima de aquecimento permitida numa *Passivhaus* é de 10 W por m² de área habitável climatizada e que para esse valor na Europa Central se traduz numa necessidade de aquecimento de 15 kWh por m² de área habitável climatizada.

Assim sendo, ao modelar o edifício em Frankfurt procurou-se usar os valores de U mencionados de modo a cumprir os limites de carga máxima e as necessidades de aquecimento referidos.

Segundo os dados presentes no *DesignBuilder*, a cidade de Frankfurt fica a uma latitude de 50,05°, a uma longitude de 8,60° e a uma elevação de 112 m. Na classificação climática de Köppen-Geiger o clima de Frankfurt é Cfb, ou seja, apresenta um clima temperado, húmido com verão temperado (47). No programa

encontra-se ainda a definição de zona climática pelo ASHRAE onde a cidade de Frankfurt pertence à zona 5C, clima frio marítimo (48).

3.5 Cidades do sul europeu estudadas

A seleção das cidades europeias a serem estudadas foi realizada consoante a base de dados do programa *DesignBuilder*. Foram escolhidas duas cidades de cada país do sul europeu afetos à EPBD, ou seja, dos Estados Membros da UE que se encontram no sul da Europa. Com a exceção da Malta e do Chipre onde foram estudadas apenas uma cidade. Pelo que foram escolhidas cidades de Portugal, Espanha, (sul de) França, Itália, Eslovénia, Croácia, Hungria, Roménia, Bulgária, Grécia, Malta e Chipre. Consultar a Figura 28.

A Tabela 2 enumera as cidades do sul da Europa selecionadas com os respetivos dados referentes à sua localização (latitude, longitude e elevação) e classificação climática (segundo Köppen-Geiger e ASHRAE), informação que está disponível na base de dados do *DesignBuilder*.

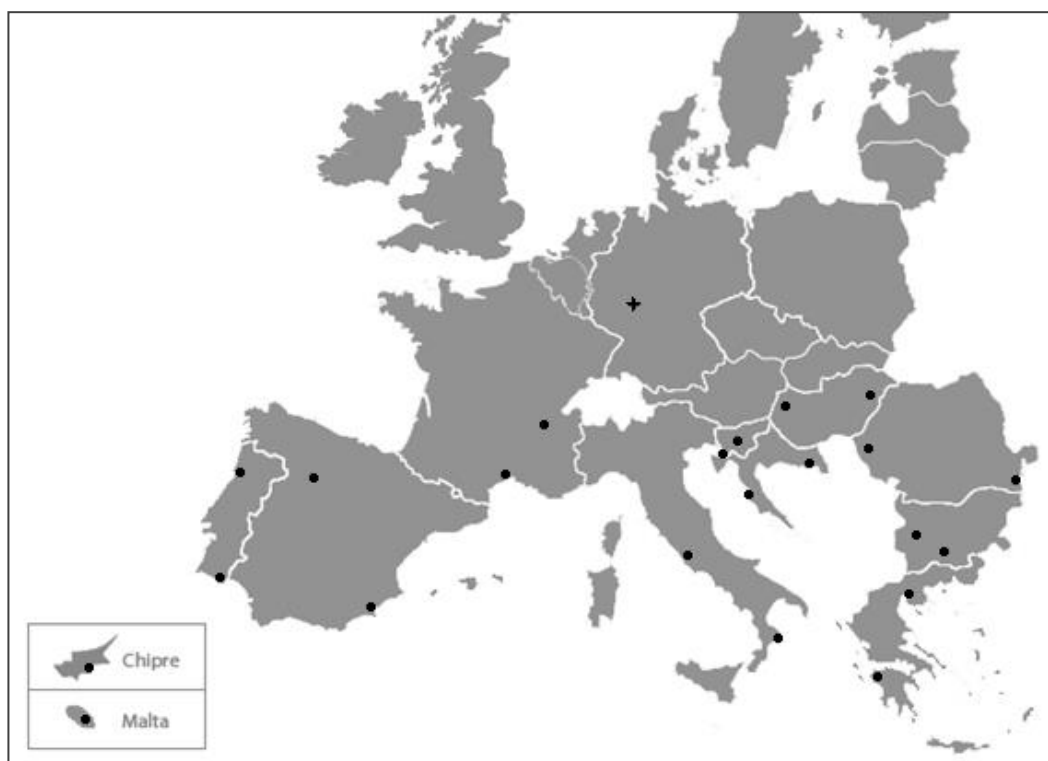


Figura 28 – Localização das cidades estudadas

Tabela 2 – Cidades do sul europeu estudadas

Cidade (País)	Porto (Portugal)	Faro (Portugal)	Valladolid (Espanha)	Múrcia (Espanha)	Lyon (França)	Montpellier (França)	Roma (Itália)	Crotona (Itália)	Liubliana (Eslovénia)	Portoroz (Eslovénia)	Slavonski Brod (Croácia)
Latitude	41,23°	37,02°	41,65°	38,00°	45,72°	43,58°	41,78°	39,00°	46,07°	45,52°	45,17°
Longitude	-8,68°	-7,97°	-4,77°	-1,17°	4,93°	3,97°	12,58°	17,07°	14,52°	13,57°	18,00°
Elevação, em m	77	8	735	62	202	8	105	161	298	95	89
Köppen-Geiger	Csb	Cfa	Csb	Cfa	Cfb	Cfa	Cfa	Cfa	Dfb	Cfa	Dfb
ASHRAE	3C	3A	4A	3A	4A	3C	3C	3C	5A	3C	4A
Cidade (País)	Zadar (Croácia)	Szombathely (Hungria)	Debrecen (Hungria)	Timisoara (Roménia)	Constança (Roménia)	Sófia (Bulgária)	Plovdiv (Bulgária)	Tessalónica (Grécia)	Andravida (Grécia)	Luqa (Malta)	Lárnaca (Chipre)
Latitude	44,10°	47,27°	47,48°	45,77°	44,22°	42,65°	42,13°	40,52°	37,92°	35,85°	34,88°
Longitude	15,35°	16,63°	21,60°	21,25°	28,65°	23,38°	24,75°	22,97°	21,28°	14,48°	33,63°
Elevação, em m	80	221	109	88	14	531	182	4	14	91	2
Köppen-Geiger	Cfa	Dfb	Dfb	Dfa	Cfa	Dfb	Cfa	Cfa	Csa	Cfa	Cfa
ASHRAE	3C	5A	5A	4A	4A	5A	4A	3C	3A	3A	3A

Legenda da Tabela 2:

Cfa – clima temperado, húmido e com verão quente (47)

Cfb – clima temperado, húmido e com verão temperado (47)

Csa – clima temperado com verão seco e quente (47)

Csb – clima temperado com verão seco e temperado (47)

Dfa – clima de neve, húmido e com verão quente (47)

Dfb – clima de neve, húmido e com verão temperado (47)

3A – clima temperado húmido (48)

3C – clima temperado marítimo (48)

4A – clima misto húmido (48)

5A – clima frio húmido (48)

4 Análise e discussão dos resultados

Os quadros apresentados abaixo fazem o resumo dos requisitos que um edifício, com as características do edifício modelado, deve ter para cumprir o padrão *Passivhaus* nas cidades do sul da Europa estudadas.

Agruparam-se as cidades segundo a sua definição de zona climática pelo ASHRAE, uma vez que as zonas definem-se segundo os graus dia de aquecimento e os graus dia de arrefecimento. As zonas climáticas são catalogadas desde o número 1 até ao 8, com o aumento dos graus dia de aquecimento e diminuição dos graus dia de arrefecimento (48). As zonas climáticas podem ainda estar divididas em três subcategorias (húmido, seco ou marítimo) que classificam a sua humidade (48). Os graus dia são um indicador do tipo de clima de uma região. Nos edifícios, esta ferramenta pode ser utilizada para estudar os consumos energéticos influenciados pelo clima. De uma forma geral, os graus dia são o somatório das diferenças de temperatura ao longo do tempo, pelo que apreendem a extremidade e a duração das temperaturas exteriores. A diferença de temperatura é entre uma temperatura de referência e a temperatura do ar exterior. Nos edifícios a temperatura de referência ou a temperatura de base é a temperatura exterior para a qual as condições de conforto são mantidas sem o funcionamento dos sistemas de aquecimento ou de arrefecimento (49).

De lembrar que em todas as localizações estudadas considerou-se que o valor de estanquidade, um parâmetro a cumprir para um edifício ser considerado *Passivhaus*, era de 0,3 renovações de ar por hora a uma diferença de pressão de 50 Pa. Também que a recuperação de calor da ventilação mecânica tinha uma eficiência de 80%.

Do estudo realizado na cidade de Frankfurt retirou-se qual a melhor forma de modelar no *DesignBuilder* o sistema AVAC do edifício representativo de uma *Passivhaus*. Foram as definições encontradas nesta análise que serviram como base do sistema AVAC utilizado em todas as simulações.

Também os requisitos encontrados para a cidade de Frankfurt (ver Quadro 3) serviram como representação do clima da Europa Central para depois comparar com os climas do sul europeu estudado nas restantes cidades escolhidas.

De outros estudos realizados, tem-se que na Europa Central a envolvente exterior de um edifício deve ter os seguintes requisitos para cumprir o padrão

Passivhaus: a envolvente opaca do edifício deve ter um valor de U compreendido entre os 0,10 e 0,15 W/(m²K); e os envidraçados devem conter vidros triplos baixos emissivos com valor de U não superior a 0,80 W/(m²K) e fator solar de 50%.

Sabe-se ainda que o valor de 15 kWh por m² de área habitável climatizada definido pelo padrão *Passivhaus* como o máximo permitido nas necessidades de aquecimento para os climas da Europa Central é correspondente ao valor de carga máxima de aquecimento de 10 W por m² de área habitável climatizada.

Com isto, ao modelar o edifício em Frankfurt procurou-se usar os valores de U mencionados anteriormente de modo a cumprir os limites de carga máxima e as necessidades de aquecimento referidos.

Ao analisar o Quadro 3 verifica-se que se cumpriu o intervalo de valores de U para a envolvente externa do edifício na Europa Central e o limite máximo da carga e necessidades de aquecimento. Todavia surgiu a necessidade de arrefecer o edifício, para tal recorreu-se à ventilação natural noturna que foi o suficiente para garantir que o sobreaquecimento do edifício acontecia em menos de 10% do tempo como o padrão *Passivhaus* o exige.

Quadro 3 – Requisitos do edifício *Passivhaus* modelado na cidade de Frankfurt, zona climática 5C

Requisitos		Frankfurt
Valor de U	Paredes exteriores, W/(m ² K)	0,105
	Laje térrea, W/(m ² K)	0,150
	Cobertura plana, W/(m ² K)	0,100
	Envidraçados, W/(m ² K)	0,700
Aquecimento (radiador)		Sim
Arrefecimento passivo	Pala de 1 metro	Sim
	Estores exteriores	Não
	Ventilação natural noturna	Sim
	Abertura do envidraçado, em %	10
Carga máxima de aquecimento, W/m ²		10,05
Necessidades de aquecimento, kWh/m ² por ano		14,6
Necessidades de energia primária, kWh/m ² por ano		55,0
Sobreaquecimento, em %		8,4

Quadro 4 – Requisitos do edifício *Passivhaus* modelado nas cidades sul europeias com zona climática 5A

Requisitos		Liubliana (Eslovénia)	Szombathely (Hungria)	Debrecen (Hungria)	Sófia (Bulgária)
Valor de U	Paredes exteriores, W/(m ² K)	0,100	0,100	0,100	0,100
	Laje térrea, W/(m ² K)	0,150	0,150	0,150	0,150
	Cobertura plana, W/(m ² K)	0,100	0,100	0,090	0,090
	Envidraçados, W/(m ² K)	0,700	0,600	0,600	0,600
Aquecimento (radiador)		Sim	Sim	Sim	Sim
Arrefecimento passivo	Pala de 1 metro	Sim	Sim	Sim	Sim
	Estores exteriores	Sim	Sim	Sim	Sim
	Ventilação natural noturna	Sim	Sim	Sim	Sim
	Abertura do envidraçado, em %	5	10	10	10
Carga máxima de aquecimento, W/m ²		9,88	9,98	10,00	9,92
Necessidades de aquecimento, kWh/m ² por ano		16,1	12,5	13,9	12,9
Necessidades de energia primária, kWh/m ² por ano		55,0	52,0	53,0	52,0
Sobreaquecimento, em %		7,6	6,9	9,0	7,1

Quadro 5 – Requisitos do edifício *Passivhaus* modelado nas cidades sul europeias com zona climática 4A

Requisitos		Valladolid (Espanha)	Lyon (França)	Slavonski Brod (Croácia)	Timisoara (Roménia)	Constança (Roménia)	Plovdiv (Bulgária)
Valor de U	Paredes exteriores, W/(m ² K)	0,150	0,130	0,100	0,090	0,095	0,095
	Laje térrea, W/(m ² K)	0,400	0,400	0,400	0,400	0,500	0,500
	Cobertura plana, W/(m ² K)	0,100	0,100	0,080	0,080	0,080	0,080
	Envidraçados, W/(m ² K)	0,800	0,800	0,600	0,700	0,800	0,700
Aquecimento (radiador)		Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Arrefecimento passivo	Pala de 1 metro	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Estores exteriores	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Ventilação natural noturna	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Abertura do envidraçado, em %	5	5	5	10	10	10
Carga máxima de aquecimento, W/m ²		9,94	10,00	9,92	9,94	9,90	9,95
Necessidades de aquecimento, kWh/m ² por ano		11,4	15,0	13,4	13,5	11,8	9,6
Necessidades de energia primária, kWh/m ² por ano		53,0	55,0	52,0	52,0	51,0	51,0
Sobreaquecimento, em %		3,0	8,0	6,6	9,1	7,7	8,4

Quadro 6 – Requisitos do edifício *Passivhaus* modelado nas cidades sul europeias com zona climática 3C

Requisitos		Porto (Portugal)	Montpellier (França)	Roma (Itália)	Crotona (Itália)	Portoroz (Eslovénia)	Zadar (Croácia)	Tessalónica (Grécia)
Valor de U	Paredes exteriores, W/(m ² K)	0,200	0,110	0,120	0,170	0,090	0,100	0,090
	Laje térrea, W/(m ² K)	0,300	0,400	0,600	0,900	0,600	0,400	0,800
	Cobertura plana, W/(m ² K)	0,100	0,100	0,100	0,100	0,080	0,090	0,080
	Envidraçados, W/(m ² K)	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
Aquecimento (radiador)		Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Arrefecimento passivo	Pala de 1 metro	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Estores exteriores	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Ventilação natural noturna	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Abertura do envidraçado, em %	5	10	5	5	5	10	5
Carga máxima de aquecimento, W/m ²		9,58	9,91	9,91	9,97	9,92	10,00	9,96
Necessidades de aquecimento, kWh/m ² por ano		2,2	4,6	8,8	7,7	13,1	10,4	6,9
Necessidades de energia primária, kWh/m ² por ano		48,0	48,0	53,0	53,0	55,0	54,0	50,0
Sobreaquecimento, em %		7,5	7,6	7,8	4,3	8,1	8,4	5,3

Quadro 7 – Requisitos do edifício *Passivhaus* modelado nas cidades sul europeias com zona climática 3A

Requisitos		Faro (Portugal)	Múrcia (Espanha)	Andravida (Grécia)	Luqa (Malta)	Lárnaca (Chipre)
Valor de U	Paredes exteriores, W/(m ² K)	0,250	0,180	0,115	0,260	0,200
	Laje térrea, W/(m ² K)	0,900	0,900	1,000	1,000	1,100
	Cobertura plana, W/(m ² K)	0,100	0,100	0,100	0,150	0,100
	Envidraçados, W/(m ² K)	1,200	1,200	1,200	1,300	1,200
Aquecimento (radiador)		Não	Não	Sim	Sim	Não
Arrefecimento passivo	Pala de 1 metro	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Estores exteriores	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Ventilação natural noturna	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
	Abertura do envidraçado, em %	5	-	5	5	5
Carga máxima de aquecimento, W/m ²		9,70	9,99	10,01	9,86	9,87
Necessidades de aquecimento, kWh/m ² por ano		0,8	1,6	4,1	5,2	1,0
Necessidades de energia primária, kWh/m ² por ano		48,0	48,0	50,0	51,0	48,0
Sobreaquecimento, em %		4,0	1,8	4,0	7,3	7,9

Nas cidades sul europeias estudadas pertencentes à zona climática 5A o edifício modelado teve um comportamento idêntico ao encontrado na Europa Central, contudo com um ligeiro aumento das preocupações com o sobreaquecimento. Foi por isso necessário a utilização dos estores exteriores e ainda a ventilação natural noturna. Todas essas cidades se encontram na Europa Sudeste. Na cidade de Liubliana, apesar de as necessidades de aquecimento estarem acima dos 15 kWh/m^2 por ano, como o valor da carga máxima está abaixo dos 10 W/m^2 o edifício modelado cumpre o padrão *Passivhaus*. Ver o Quadro 4.

Também nas cidades estudadas com a zona climática 4A se encontram semelhanças com os requisitos da Europa Central. Contudo aumenta a necessidade de arrefecer o edifício. Pelo que se recorre a um menor isolamento da laje térrea para promover o arrefecimento, para além da utilização dos estores exteriores e da ventilação natural noturna. As outras características mantêm-se, o uso de vidros triplos e o nível de isolamento da restante envolvente exterior. Nota-se uma ligeira diminuição das necessidades de aquecimento. Consultar o Quadro 5.

Analisando o Quadro 6, as cidades com zona climática 3C estudadas verifica-se a influência do clima temperado, refletindo-se num alívio do nível de isolamento da envolvente. A utilização dos vidros duplos de baixa emissividade é o suficiente para garantir o padrão *Passivhaus*. Em algumas cidades existe o aumento do valor de U das paredes exteriores e novamente utiliza-se um menor isolamento da laje térrea para auxiliar o arrefecimento do edifício. Não esquecendo também a utilização de sombreamento e da ventilação natural noturna. Na cidade do Porto (Portugal) e Montpellier (França) não foi necessário recorrer a outro método de aquecimento para além da recuperação de calor da ventilação mecânica. Nesta zona climática observa-se uma vasta gama de valores das necessidades de aquecimento nas diferentes localizações estudadas, o valor mais baixo encontrado foi de $2,2 \text{ kWh/m}^2$ por ano na cidade do Porto e o mais alto de $13,1 \text{ kWh/m}^2$ por ano na cidade de Portoroz (Eslovénia).

As cidades europeias estudadas pertencentes à zona climática 3A têm um fator em comum na sua localização, estão abaixo da latitude de 38° , sendo as cidades escolhidas que ficam mais a Sul, ver o Quadro 7 e a Tabela 2. Pelo que

também apresentam o clima mais quente estudado. Novamente a utilização dos vidros duplos de baixa emissividade é o suficiente para garantir o padrão *Passivhaus*. A média do valor de U utilizado nas paredes exteriores é de $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, o dobro do utilizado em Frankfurt (Alemanha). A média do valor de U utilizado na laje térrea é de $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, quase o séptuplo do utilizado em Frankfurt (Alemanha). As necessidades de arrefecimento foram satisfeitas apenas com os métodos passivos já mencionados anteriormente. As necessidades de aquecimento nestas cidades estão pelo menos abaixo do terço do valor máximo permitido pelo padrão *Passivhaus*. Nas cidades Faro (Portugal), Múrcia (Espanha) e Lárnaca (Chipre) as necessidades de aquecimento foram garantidas apenas com o calor recuperado da ventilação mecânica.

Em Portugal, nas cidades estudadas, bastou o calor recuperado da ventilação mecânica para aquecer o edifício modelado e satisfazer as poucas necessidades de aquecimento que estiveram abaixo de cerca de um sétimo do valor máximo permitido pelo padrão *Passivhaus*. Em termos de arrefecimento a utilização da ventilação natural noturna e de estores exteriores foi o suficiente para cumprir o parâmetro de sobreaquecimento. Comparando com a Europa Central, a utilização de vidros duplos de baixa emissividade passa a ser o suficiente. O valor de U das paredes exteriores pode ser aliviado em cerca de metade do recomendado na Europa Central. Em termos de laje térrea no Porto o valor de U foi o dobro e em Faro o sêxtuplo do utilizado em Frankfurt (Alemanha).

Em Espanha, na cidade de Múrcia o edifício modelado teve um comportamento semelhante ao analisado em Faro (Portugal). Contudo os requisitos encontrados em Valladolid assemelham-se mais aos do clima da Europa Central, excetuando a laje térrea que tem um nível de isolamento menor. Na cidade de Múrcia o recuperador de calor foi o suficiente para satisfazer as poucas necessidades de aquecimento, que foram de pouco mais que um décimo do valor máximo permitido pelo padrão *Passivhaus*. Em Múrcia a utilização de estores exteriores juntamente com a pala de sombreamento (comum em todas as localizações) foi o suficiente para arrefecer o edifício. Em Valladolid a ventilação natural noturna foi o método utilizado para arrefecer o edifício.

Em França, na cidade de Montpellier o edifício não precisou de outro meio de aquecimento para além do recuperador de calor do sistema de ventilação e a suas necessidades de aquecimento são um terço das encontradas na Europa Central. Os requisitos encontrados para a cidade de Lyon são idênticos aos da Europa Central, com exceção do alívio do nível de isolamento da laje térrea. Em ambas o arrefecimento do edifício foi realizado pelos métodos passivos já mencionados anteriormente.

Em Itália o edifício modelado nas duas cidades estudadas apresentou características parecidas. A utilização de vidros duplos de baixa emissividade foi o suficiente para satisfazer os requisitos *Passivhaus*. Em ambas, foi necessário recorrer a aquecimento para além do recuperador de calor e as necessidades de aquecimento mantiveram-se abaixo dos 9 kWh/m² por ano, ou seja menos de dois terços das necessidades de aquecimento da Europa Central. O método de arrefecimento utilizado foi igual nas duas cidades, ventilação natural noturna e estores exteriores. A utilização do valor de U mais elevado na laje térrea também promove o arrefecimento do edifício, necessário para os verões quentes.

Na Eslovénia, na cidade de Liubliana o edifício modelado teve um comportamento idêntico ao simulado em Frankfurt (Alemanha). Apesar de as necessidades de aquecimento estarem acima dos 15 kWh/m² por ano, como o valor da carga máxima está abaixo dos 10 W/m² o edifício modelado cumpre o padrão *Passivhaus*. Na cidade de Portoroz o clima é mais ameno, sendo que a utilização de vidros duplos de baixa emissividade foi o suficiente. Também se utilizou um menor isolamento da laje térrea para promover o arrefecimento do edifício, sendo que o valor de U foi quatro vezes superior ao utilizado em Liubliana. Em ambas cidades as necessidades de arrefecimento foram satisfeitas através de métodos passivos, com o recurso à ventilação natural noturna e uso de estores exteriores.

Na Croácia em termos de envolvente externa opaca os requisitos encontrados foram semelhantes entre as duas cidades estudadas. Relativamente aos envidraçados, como Zadar tem um clima temperado bastou os vidros duplos de baixa emissividade. Novamente se utilizou um valor de U mais elevado na laje térrea, comparativamente à Europa Central, para auxiliar no arrefecimento do edifício nas

duas cidades. O restante arrefecimento do edifício foi feito através da utilização de estores exteriores e da ventilação natural noturna. De notar que as necessidades de aquecimento em Zadar foram pouco mais que dois terços do valor máximo permitido pelo padrão *Passivhaus*. Na cidade de Slavonski Brod as necessidades de aquecimento foram ligeiramente menores do que em Frankfurt (Alemanha).

Na Hungria os requisitos encontrados são idênticos aos da Europa Central e entre as duas cidades estudadas. Contudo as necessidades de arrefecimento são um pouco maiores do que em Frankfurt (Alemanha), pois houve a necessidade de recorrer a mais do que um método de arrefecimento passivo. As necessidades de aquecimento são ligeiramente menores.

Na Roménia as características da envolvente identificam-se com as da Europa Central, excetuando a laje térrea cujo valor de U é mais elevado para promover o arrefecimento do edifício. Pelo que há uma maior necessidade de arrefecimento relativamente à Europa Central. Os outros métodos de arrefecimento utilizados foram a ventilação natural noturna e os estores exteriores. Também de notar que as necessidades de aquecimento são um pouco menores. A cidade de Constança apresenta necessidades de aquecimento um pouco menores e por isso nota-se um ligeiro alívio nos requisitos comparativamente à cidade de Timisoara.

Na Bulgária, na cidade de Sófia o edifício apresenta um comportamento idêntico ao de Frankfurt (Alemanha). Na cidade de Plovdiv as necessidades de aquecimento foram menores, cerca de um terço menor do que o valor máximo permitido pelo padrão *Passivhaus*. As necessidades de arrefecimento foram maiores, pelo que se usou um menor nível de isolamento na laje térrea para ajudar no arrefecimento do edifício. Nas duas cidades recorreu-se à ventilação natural noturna e aos estores exteriores para o arrefecimento do edifício.

Na Grécia apesar do verão ser quente e o inverno ameno não se conseguiu aquecer o edifício apenas com o recuperador de calor do sistema de ventilação. As necessidades de aquecimento rondaram o terço das necessidades da Europa Central. O uso de vidros duplos de baixa emissividade foi o suficiente e valor de U

elevado da laje térrea serve para promover o arrefecimento do edifício. O restante arrefecimento foi realizado pelos métodos passivos já referidos anteriormente.

Em Malta foi estudada apenas a cidade de Luqa. Aqui todos os requisitos da envolvente exterior foram aliviados em relação a Frankfurt (Alemanha). O valor de U das paredes exteriores foi duas vezes e meia superior. O da laje térrea foi oito vezes maior. O da cobertura foi mais metade do utilizado em Frankfurt (Alemanha). Bastou a utilização de vidros duplos de baixa emissividade. As necessidades de aquecimento foram cerca de um terço do valor máximo permitido pelo padrão *Passivhaus*. Apesar de tudo isto não se conseguiu aquecer o edifício apenas com a recuperação de calor da ventilação mecânica. As necessidades de arrefecimento foram satisfeitas com os métodos de arrefecimento passivos.

Em Chipre foi estudada apenas a cidade de Lárnaca. O comportamento do edifício nesta cidade identifica-se com o estudado na cidade de Faro (Portugal). Em Lárnaca o calor fornecido pelo recuperador do sistema de ventilação foi o suficiente para satisfazer as pouquíssimas necessidades energéticas que foram menos de um décimo do valor máximo permitido pelo padrão *Passivhaus*. Novamente o arrefecimento foi conseguido recorrendo apenas aos métodos passivos já mencionados.

As necessidades de energia primária do edifício modelado estiveram compreendidas entre o valor mínimo de 48 kWh/m² por ano e máximo de 55 kWh/m² por ano. O mínimo aconteceu quando não houve a necessidade de recorrer a outro método de aquecimento para além da recuperação de calor do sistema de ventilação. Os restantes valores foram influenciados pelo restante sistema de aquecimento e pelo funcionamento da ventilação mecânica. Este intervalo de valores manteve-se abaixo da metade do valor máximo permitido (120 kWh/m² por ano) pelo padrão *Passivhaus*.

5 Conclusões e trabalhos futuros

5.1 Síntese do trabalho realizado

Ao realizar este trabalho pretendeu-se encontrar que requisitos um edifício a ser construído no sul da Europa deve ter para cumprir o padrão *Passivhaus*.

Primeiro criou-se um edifício modelo para o estudar em diferentes cidades do sul europeu e assim determinar esses requisitos. Sendo que a ferramenta de trabalho foi o *DesignBuilder*, um programa de simulação dinâmica.

O edifício modelo é do tipo residencial com 90 m² para uma família de três pessoas. Apresenta geometria simples, piso térreo de forma retangular e com cobertura plana.

Nesse edifício criado a sua tipologia, geometria, ocupação, utilização do espaço equipamentos, iluminação e AQS foram os parâmetros comuns em todas as localizações. Os parâmetros variáveis são o nível de isolamento da envolvente externa, o modo de funcionamento do sistema AVAC e de outros métodos de aquecimento e de arrefecimento do edifício.

Do estudo desses parâmetros retirou-se os requisitos que o edifício modelado deve ter para ser considerado *Passivhaus* nas cidades estudadas.

Antes de começar a estudar o edifício nas cidades sul europeias simulou-se o edifício modelado na cidade de Frankfurt, da Alemanha. Os dados retirados desta análise serviram como termo comparativo do estudo realizado às cidades do sul da Europa.

5.2 Principais conclusões

O sul da Europa apresenta tipos de climas distintos, sendo que nas localizações estudadas encontrou-se climas frios que se aproximam ao da Europa Central até aos climas temperados. Contudo as necessidades de arrefecimento do sul europeu acabam por ser superiores às da Europa Central.

Das cidades estudadas aquelas em que foi possível aquecer o edifício modelado apenas com a recuperação de calor do sistema de ventilação foram onde as necessidades de aquecimento estiveram abaixo dos $2,2 \text{ kWh/m}^2$ por ano. O valor mais baixo de necessidades de aquecimento determinado a seguir ao valor dos $2,2 \text{ kWh/m}^2$ por ano foi de $4,1 \text{ kWh/m}^2$ por ano. Portanto para o edifício modelado nas cidades onde as necessidades de aquecimento estão acima dos $4,1 \text{ kWh/m}^2$ por ano foi necessário o uso de radiadores para auxiliar no aquecimento do edifício e garantir os parâmetros de conforto *Passivhaus*.

Em todas as localizações as necessidades de arrefecimento foram satisfeitas recorrendo apenas a métodos passivos de arrefecimento.

Na zona climática 5A o comportamento do edifício modelado é idêntico ao encontrado na cidade de Frankfurt. Também o da zona climática 4A é semelhante, excetuando a diminuição do nível de isolamento na laje térrea. Nas zonas 3A e 3C de uma forma geral existe um alívio nos requisitos para atingir o padrão *Passivhaus* comparativamente aos encontrados na Europa Central.

Relativamente aos envidraçados, nos climas temperados (zonas 3A e 3C) o uso dos vidros duplos é o suficiente para satisfazer o padrão *Passivhaus*, nas restantes zonas climáticas estudadas continua a ser necessário recorrer ao vidro triplo.

A definição de zona climática pelo ASHRAE permitiu agrupar os resultados das cidades com a mesma zona pois havia semelhanças entre eles, algo que não se conseguiu com as cidades com a mesma classificação climática de Köppen-Geiger.

5.3 Propostas de trabalho futuro

O estudo realizado não contabiliza em consumos energéticos as necessidades de arrefecimento uma vez que se conseguiu arrefecer o edifício recorrendo apenas a métodos passivos, com recurso a sombreamento e ventilação natural noturna. Em certas localizações também foi utilizado um menor nível de isolamento na laje térrea do edifício para promover o arrefecimento. Contudo essas formas de arrefecimento poderão ter sido utilizadas em detrimento do aquecimento, provocando o aumento

das necessidades de aquecimento. Pelo que em trabalhos futuros propõe-se que sejam contabilizadas também as necessidades de arrefecimento e a influência das ações tomadas para arrefecer o edifício nas necessidades de aquecimento.

O modo de obtenção dos resultados teve por base a tentativa e erro, com isto em trabalhos futuros se propõe recorrer da ferramenta de “otimização” existente no *software* do *DesignBuilder*.

Perceber que influência o nível de isolamento de cada elemento da envolvente exterior (cobertura, laje térrea, parede exterior e envidraçados) tem nas necessidades de aquecimento e arrefecimento.

Modelar um edifício com características idênticas mas em vez de ser de um único piso, ter a mesma área habitável climatizada dividida por dois pisos e comparar os resultados obtidos. Analisar se os requisitos determinados são os mesmos e se um tem melhor desempenho energético que o outro.

Referências bibliográficas

1. Figueiredo A, Figueira J, Vicente R, Maio R. Thermal comfort and energy performance: Sensitivity analysis to apply the Passive House concept to the Portuguese climate. *Building and Environment* [Internet]. 2016 [citado 6 de Julho de 2016];103:276–88. Obtido de: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132316301147>
2. CE. 2020 climate & energy package [Internet]. 2016 [citado 23 de Julho de 2016]. Obtido de: http://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020/index_en.htm
3. UE. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast). *Official Journal of the European Union* [Internet]. 2010 [citado 1 de Outubro de 2015];13–35. Obtido de: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=celex:32010L0031>
4. D'Agostino D. Assessment of the progress towards the establishment of definitions of Nearly Zero Energy Buildings (nZEBs) in European Member States. *Journal of Building Engineering* [Internet]. Elsevier; 2015 [citado 2 de Outubro de 2015];1:20–32. Obtido de: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352710215000042>
5. PassREg. Defining the Nearly Zero Energy Building: Passive House + renewables - Municipalities lead the Way [Internet]. Passive House Institut; 2015 [citado 30 de Setembro de 2015]. Obtido de: [https://ec.europa.eu/easme/sites/easme-site/files/Defining the Nearly Zero Energy Building.pdf](https://ec.europa.eu/easme/sites/easme-site/files/Defining%20the%20Nearly%20Zero%20Energy%20Building.pdf)
6. Saldaña-Márquez, H. Gómez-Soberón, J.M. Arredondo-Rea, S.P. Almaral-Sánchez, J.L. Gómez-Soberón, M.C. Rosell-Balada G. The Passivhaus Standard in the Mediterranean Climate: Evaluation, Comparison and Profitability. *Journal of Green Building* [Internet]. 2015 [citado 3 de Janeiro de 2016];10(4):55–72. Obtido de: <http://www.journalofgreenbuilding.com/doi/abs/10.3992/jgb.10.4.55>
7. Dequaire X. Passivhaus as a low-energy building standard: contribution to a typology. *Energy Efficiency* [Internet]. 3 de Agosto de 2012 [citado 5 de Outubro]

de 2015];5(3):377–91. Obtido de: <http://link.springer.com/10.1007/s12053-011-9140-8>

8. Passipedia. The Passive House Resource: Basics [Internet]. 2015 [citado 20 de Setembro de 2015]. Obtido de: <http://www.passipedia.org/basics>
9. IPHA. Active for more comfort: Passive House [Internet]. International Passive House Association; 2014 [citado 28 de Setembro de 2015]. Obtido de: http://www.passivehouse-international.org/upload/download_complete_PH_Brochure.pdf
10. Figueiredo A, Kämpf J, Vicente R. Passive house optimization for Portugal: Overheating evaluation and energy performance. Energy and Buildings [Internet]. Elsevier B.V.; 2016 [citado 6 de Julho de 2016];118:181–96. Obtido de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.02.034>
11. Marszal AJ, Heiselberg P, Bourrelle JS, Musall E, Voss K, Sartori I, et al. Zero Energy Building - A review of definitions and calculation methodologies. Energy and Buildings [Internet]. Elsevier B.V.; 2011 [citado 3 de Outubro de 2015];43(4):971–9. Obtido de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.12.022>
12. Voss K, Sartori I, Lollini R. Nearly-zero, net zero and plus energy buildings: how definitions & regulations affect the solutions. REHVA Journal [Internet]. 2012 [citado 2 de Outubro de 2015];49(6):23–8. Obtido de: <http://www.rehva.eu/publications-and-resources/rehva-journal/2012/062012/nearly-zero-net-zero-and-plus-energy-buildings-how-definitions-regulations-affect-the-solutions.html>
13. Torcellini P, Pless S, Deru M. Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition; Preprint. Em: ACEEE Summer Study [Internet]. Pacific Grove, California, USA; 2006 [citado 3 de Outubro de 2015]. Obtido de: <http://www.nrel.gov/docs/fy06osti/39833.pdf>
14. Hernandez P, Kenny P. From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB). Energy and Buildings [Internet]. Elsevier B.V.; 2010 [citado 3 de Outubro de 2015];42(6):815–21. Obtido de:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.12.001>

15. BPIE. Committed to increasing the energy performance of buildings across Europe [Internet]. 2015 [citado 10 de Julho de 2016]. Obtido de: http://bpie.eu/wp-content/uploads/2015/11/BPIE_Brochure.pdf
16. CA-EPBD. 2016 Implementing the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD): Part A – Core Theme Reports [Internet]. Lisboa: ADENE; 2015 [citado 12 de Agosto de 2016]. 110 p. Obtido de: <http://www.epbd-ca.eu/outcomes/2011-2015/CA3-BOOK-2016-A-web.pdf>
17. BPIE. Nearly zero energy buildings definitions across Europe: factsheet [Internet]. 2015 [citado 10 de Julho de 2016]. Obtido de: http://bpie.eu/wp-content/uploads/2015/09/BPIE_factsheet_nZEB_definitions_across_Europe.pdf
18. CE. Evaluation Roadmap of the Energy Performance of Buildings Directive 2010/31/EU [Internet]. 2015 [citado 1 de Agosto de 2016]. Obtido de: http://ec.europa.eu/smart-regulation/roadmaps/docs/2016_ener_023_evaluation_energy_performance_of_buildings_directive_en.pdf
19. PassREg. PassREg: Passive House Regions with Renewable Energies [Internet]. 2015 [citado 30 de Setembro de 2015]. Obtido de: <http://www.passreg.eu/index.php>
20. Schnieders J, Hermelink A. CEPHEUS results: measurements and occupants' satisfaction provide evidence for Passive Houses being an option for sustainable building. Energy Policy [Internet]. 2006 [citado 29 de Setembro de 2015];34(2):151–71. Obtido de: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421504002708>
21. Passipedia. The Passive House Resource: What is a Passive House? [Internet]. 2015 [citado 21 de Setembro de 2015]. Obtido de: http://passipedia.org/basics/what_is_a_passive_house
22. Schnieders J, Feist W, Rongen L. Passive Houses for different climate zones. Energy and Buildings [Internet]. Elsevier B.V.; 2015 [citado 16 de Outubro de 2015].

- 2015];105:71–87. Obtido de:
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778815301481>
23. Passipedia. The Passive House Resource: The Passive House - definition [Internet]. 2015 [citado 21 de Setembro de 2015]. Obtido de:
http://passipedia.org/basics/the_passive_house_-_definition
24. Müller L, Berker T. Passive House at the crossroads: The past and the present of a voluntary standard that managed to bridge the energy efficiency gap. Energy Policy [Internet]. Elsevier; 2013 [citado 27 de Setembro de 2015];60:586–93. Obtido de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.057>
25. Passipedia. The Passive House Resource: Thermal insulation [Internet]. 2015 [citado 22 de Setembro de 2015]. Obtido de:
http://passipedia.org/planning/thermal_protection/integrated_thermal_protection
26. PHI. Window and Glazing - Heat Transfer Coefficient [Internet]. 2006 [citado 22 de Setembro de 2015]. Obtido de:
http://passiv.de/former_conferences/Passive_House_E/window_U.htm
27. PHI. Design avoiding thermal bridges: preferable not only for Passive Houses [Internet]. 2006 [citado 23 de Setembro de 2015]. Obtido de:
https://passiv.de/former_conferences/Passive_House_E/passive_house_avoiding_thermal_bridges.html
28. Burrell E. What is Thermal Bridge Free Construction? [Internet]. 2015 [citado 23 de Setembro de 2015]. Obtido de: <http://elrondburrell.com/blog/passivhaus-thermal-bridge-free-construction/>
29. Passipedia. The Passive House Resource: Airtight construction [Internet]. 2015 [citado 23 de Setembro de 2015]. Obtido de:
http://passipedia.org/planning/airtight_construction
30. Passipedia. The Passive House Resource: Types of ventilation [Internet]. 2015 [citado 24 de Setembro de 2015]. Obtido de:
http://passipedia.org/planning/building_services/ventilation/basics/types_of_ventilation

31. Burrell E. What is Mechanical Ventilation with Heat Recovery (MVHR)? [Internet]. 2015 [citado 29 de Setembro de 2015]. Obtido de:
<http://elrondburrell.com/blog/passivhaus-mechanical-ventilation-heat-recovery/>
32. Passipedia. The Passive House Resource: User behaviour [Internet]. 2015 [citado 24 de Setembro de 2015]. Obtido de:
http://passipedia.org/operation/operation_and_experience/user_behaviour
33. Passipedia. The Passive House Resource: Thermal comfort parameters [Internet]. 2015 [citado 25 de Setembro de 2015]. Obtido de:
http://passipedia.org/basics/building_physics_-_basics/thermal_comfort/thermal_comfort_parameters
34. Passipedia. The Passive House Resource: Energy balances - Background [Internet]. 2015 [citado 25 de Setembro de 2015]. Obtido de:
http://passipedia.org/planning/calculating_energy_efficiency/energy_balances_-_background
35. IPHA. The Passive House Difference [Internet]. 2015 [citado 25 de Setembro de 2015]. Obtido de: http://www.passivehouse-international.org/index.php?page_id=238
36. Burrell E. What is the Heat Loss Form Factor? [Internet]. 2015 [citado 25 de Setembro de 2015]. Obtido de: <http://elrondburrell.com/blog/passivhaus-heatloss-formfactor/>
37. Passive-On. O Projeto Passive-On [Internet]. 2007 [citado 3 de Outubro de 2015]. Obtido de: <http://www.eerg.it/passive-on.org/pt/>
38. Passive-On. Passive-On CD [Internet]. 2007 [citado 3 de Outubro de 2015]. Obtido de: <http://www.eerg.it/passive-on.org/CD/>
39. Schnieders J. Passive Houses in South West Europe [Internet]. 2009 [citado 3 de Outubro de 2015]. Obtido de:
https://passiv.de/former_conferences/Passive_House_E/PH_MedClim.html
40. PHI. Energy Efficiency in the Mediterranean region with Passive Houses

[Internet]. 2015 [citado 3 de Outubro de 2015]. Obtido de:
http://www.passiv.de/en/02_informations/05_ph-mediterranean/05_ph-mediterranean.htm

41. Badescu V, Laaser N, Crutescu R. Warm season cooling requirements for passive buildings in Southeastern Europe (Romania). *Energy* [Internet]. Elsevier Ltd; 2010 [citado 14 de Outubro de 2015];35(8):3284–300. Obtido de:
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360544210002057>
42. Rotar N, Badescu V. Considerations on the Implementation of the Passive House Concept in South-Eastern Europe (Romania). *International Journal of Green Energy* [Internet]. 2011 [citado 14 de Outubro de 2016];8(7):780–94. Obtido de:
<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15435075.2011.600376>
43. Hong T, Chou S., Bong T. Building simulation: an overview of developments and information sources. *Building and Environment* [Internet]. 2000 [citado 27 de Março de 2017];35(4):347–61. Obtido de:
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132399000232>
44. DesignBuilder. EnergyPlus Simulation [Internet]. 2017 [citado 27 de Março de 2017]. Obtido de: <https://www.designbuilder.co.uk/simulation/>
45. Clarke A, Grant N. The importance of hot water system design in the Passivhaus. *International Passivhaus Conference* [Internet]. 2010 [citado 4 de Abril de 2017];44(0):1–7. Obtido de: <http://www.aecb.net/publications/the-importance-of-hot-water-system-design-in-the-passivhaus/>
46. Passipedia. The Passive House Resource: Internal heat gains in relation to living area - New version of the standard assumptions for internal heat gains in residential buildings in the PHPP 9 [Internet]. 2015 [citado 7 de Abril de 2017]. Obtido de: https://passipedia.org/planning/calculating_energy_efficiency/phpp_-_the_passive_house_planning_package/internal_heat_gains_in_relation_to_living_area
47. Kottek M, Grieser J, Beck C, Rudolf B, Rubel F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* [Internet]. 2006 [citado

10 de Abril de 2017];15(3):259–63. Obtido de:
http://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/15/55034/World_Map_of_the_Koppen_Geiger_climate_classification?af=crossref

48. Thornton B, Wang W, Xie Y, Cho H, Liu B, Zhang J. Achieving the 30% Goal: Energy and Cost Savings Analysis of ASHRAE Standard 90.1-2010 [Internet]. PNNL. 2011 [citado 11 de Junho de 2017]. Obtido de:
https://www.energycodes.gov/sites/default/files/documents/BECF_Energy_Cost_Savings_STD2010_May2011_v00.pdf
49. CIBSE. Degree-days: theory and application - TM41 [Internet]. London: Chartered Institution of Building Services Engineers; 2006 [citado 11 de Junho de 2017]. Obtido de: <http://www.degree-days-for-free.co.uk/pdf/TM41.pdf>